

ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ

А.А. Сизо, А.Е. Литвинов

В статье описана структура технологий повышения прочности режущей части пилы. В статье также представлены результаты анализа существующих технологий (металлизация и наплавка, сварка, методы легирования), позволяющих получить композит с заданными характеристиками. Описанные технологии, как правило, характеризуются созданием композиционного ламината на основе нанесения покрытий, который при оценке производительности вводит дополнительный критерий адгезионной прочности. Это, в свою очередь, является основным критерием эксплуатационных характеристик режущего инструмента.

Ключевые слова: металлизация и наплавка, сварка, методы легирования ленточная пила.

В настоящее время в заготовительном производстве (как в мелко, так и в крупносерийном) для резки металлоката и труб из черных и цветных металлов все чаще используются металлорежущие ленточнопильные станки. Этот метод резки металла, объективно, является наиболее эффективным и продуктивным. Совершенствование конструкции станков и преимущества резки с помощью лезвийного инструмента являются основными факторами, способствующими росту использования таких станков в различных отраслях промышленности.

В машиностроении используют эффективный режущий инструмент (РИ), который обеспечивает заданные параметры эффективности, производительности, точности и качества резки, поскольку при общих затратах процесса резки на отрезных станках стоимость затрат на инструмент составляет до сорока процентов.

На сегодняшний день в отечественном станкостроении отсутствует действующее производство и разработка режущих инструментов для металлорежущих станков, а текущее отрезное оборудование работает исключительно на инструменте импортного производства, что делает заготовительное производство уязвимым и зависимым. Решение проблемы повышения энергоэффективности процесса резки металлорежущего оборудования и повышения его производительности возможно за счет снижения нагрузки на резание, использования оригинальных конструктивных решений, направленных на разработку режущего инструмента, а также анализа геометрических параметров и параметров устойчивости существующие инструменты в разработке новых видов режущих инструментов. Это повысит надежность и точность, функциональные и технологические возможности, производительность обработки деталей, а также снизит стоимость эксплуатации. Это повысит энергоэффективность отрезного оборудования, снизит стоимость российской машиностроительной продукции и обеспечит технологическую безопасность страны за счет внедрения конкурентоспособных импортозамещающих режущих инструментов для отрезных станков. [1,2].

На сегодняшний день самые популярные биметаллические пилы с зубом изготавливаются из быстрорежущей стали М42 (аналог 11Р2М10К8). Эта сталь характеризуется высокой твердостью (HRC 67-68) и жаропрочностью до 700 градусов. Основой пилы является специальная пружинная сталь, придающая прочность и долговечность. Режущая часть приварена к основанию с помощью электронного луча. Это позволяет использовать пилы данной конструкции в серийном производстве. Для самых сложных условий резания используются ленточные пилы с твердосплавными зубьями при резке на двухколонных тяжелых станках с высокой производительностью. На этом станке можно резать труднообрабатываемые материалы, такие как инконель, монель, хастеллой или чугунные сплавы. Пилы этого типа используются для резки заготовок твердого сечения диаметром не менее 100 мм.

Биметаллические пилы имеют длительный срок службы и обладают высокой режущей способностью благодаря специальной технологии производства, когда полоса из быстрорежущей стали приваривается к основанию из пружинной стали с помощью электронного луча (рис. 1).

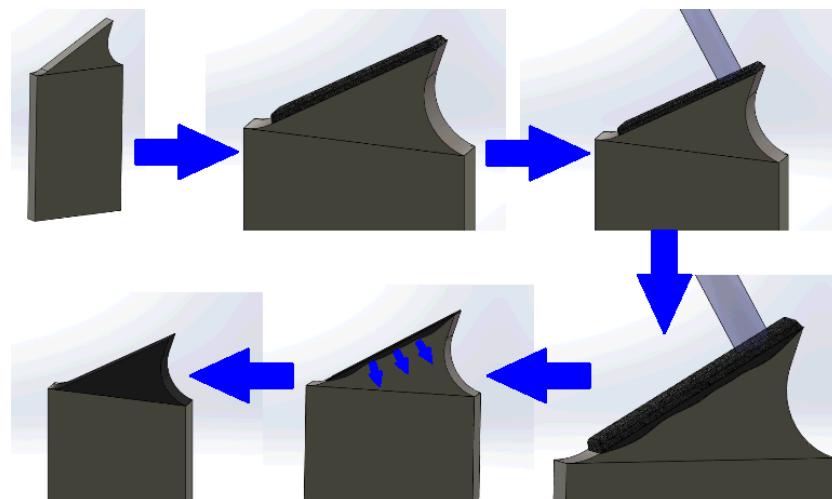


Рис. 1. Производство ленточных биметаллических пил.

Биметаллические пилы имеют постоянный (нормальный) или переменный (комбинированный) шаг зубьев. Для резки полых профилей вы используете зуб с переменным шагом, хотя их также можно использовать для непрерывных профилей с небольшой потерей производительности. Преимущество использования пилы с переменным

шагом зуба заключается в уменьшении шума и вибрации, увеличении долговечности, улучшении качества резки. Наиболее универсальным сортом, используемым в качестве материала зуба, является М42. Такие пилы используются для резки большинства сталей. Пилы М51 и М71, как более износостойкие, используются для резки нержавеющих сталей и специальных сплавов.

В качестве аналога пилы из пружинной стали в качестве материала предлагается сталь 65, которая является альтернативой описанному М42.

Стальное основание 65 обеспечивает режущему инструменту следующие преимущества:

1. Хорошая свариваемость (необходима при изготовлении пил для машины определенного размера).
2. Высокая виброустойчивость (обеспечение стабильности процесса резки, уменьшение увода пилы во время резки, улучшение качества резки).

3. Устойчивость к динамическим и переменным напряжениям (увеличенный срок службы инструмента).

Использование стали 65 в качестве режущего материала для пил невозможно при обработке материалов в современных условиях резания. Для режущей части необходимо использовать материалы с более высокими физико-механическими характеристиками, которые в свою очередь не соответствуют требованиям к полотну пилы [3].

Создание композитного ламината является основной возможной альтернативой для инструмента, который отвечает всем необходимым требованиям.

К числу существующих технологий, позволяющих получить композит с заданными характеристиками, относятся методы: металлизация и наплавка, сварка, методы легирования.

Структура технологий повышения прочности режущей части пилы показана на рисунке 2.

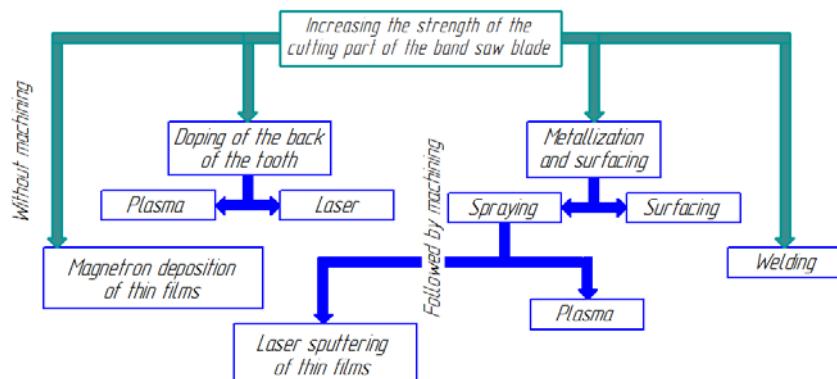


Рис. 2. Технологии улучшения эксплуатационных характеристик режущей части пилы

Среди технологий распыления наиболее интересными технологиями на сегодняшний день являются: детонационное распыление, холодное газодинамическое распыление и высокоскоростное газопламенное распыление. Однако из-за того, что адгезионная прочность не превышает 120 МПа. В результате работы инструмента с покрытиями, полученными этим способом, режущая кромка выдувается из полотна на начальном этапе эксплуатации [4,5].

Среди существующих технологий осаждения, наиболее подходящих для адгезионных требований, - создание тонкой пленки с использованием лазерного импульсного осаждения и функционального слоя с использованием технологии плазменного напыления [6,7].

Из этих двух технологий технология лазерного импульсного осаждения является наиболее предпочтительной, поскольку, в отличие от плазменного напыления, нет необходимости в последующей обработке [7].

Технология наплавки неприменима из-за неравномерного нагрева по всей плоскости пильного диска при неравномерном охлаждении, что приводит к высоким остаточным напряжениям и последующему короблению, что недопустимо для режущего инструмента этого типа.

Технология сварки также имеет недостатки для этого типа инструмента, поскольку она также требует удаления остаточных напряжений и последующей обработки. Кроме того, существенным ограничением является выбор материала по критерию свариваемости [3].

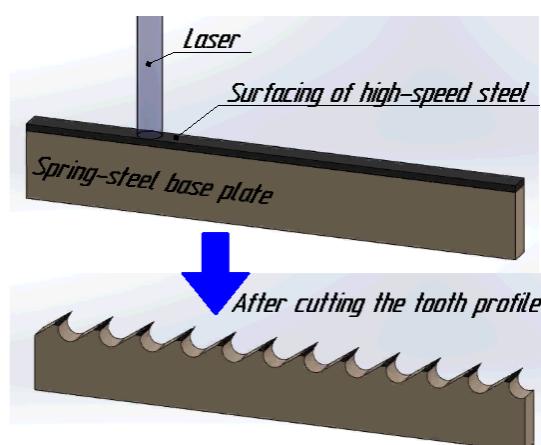


Рис. 3. Производство биметаллических режущих инструментов с использованием технологии лазерной сварки

Магнетронное осаждение характеризуется очень высокими энергетическими затратами, кроме того, этот метод уступает другим технологиям на период эксплуатации, поскольку позволяет получать в качестве покрытия только тонкие пленки.

Описанные технологии, как правило, характеризуются созданием композиционного ламината на основе нанесения покрытий, который при оценке производительности вводит дополнительный критерий адгезионной прочности. Это, в свою очередь, является основным критерием эксплуатационных характеристик режущего инструмента.

Наиболее эффективной технологией, позволяющей повысить характеристики режущей части инструмента, является легирование.

Что касается ленточных пил, источником легирования будет лазерное легирование вдоль задней поверхности и плазменное легирование.

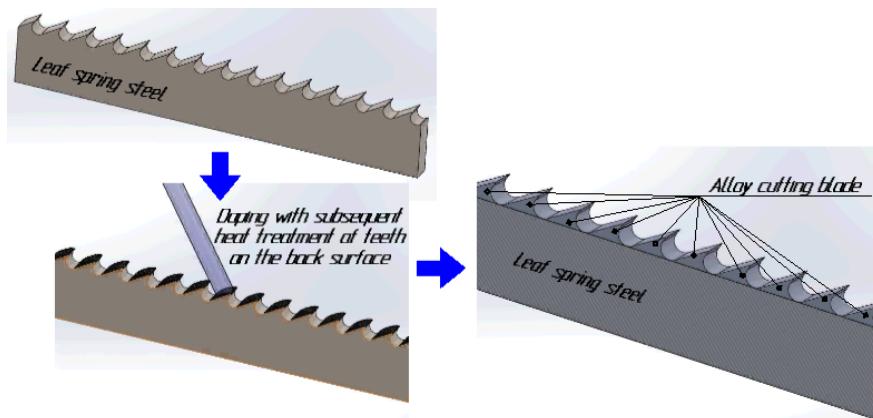


Рис. 4. Схема зонального легирования с использованием высокоэнергетических технологий

Анализ условий работы режущего инструмента ленточных пил показал, что пилы подвергаются сложной нагрузке. Таким образом, во время работы полотно ленточной пилы работает на изгиб вдоль трех плоскостей, при этом происходит скручивание вдоль центра масс пильного полотна, что позволяет сделать вывод о том, что пила сильно изношена. Кроме того, во время резки зубья режущей части пилы также подвергаются переменному напряжению и работают в условиях трения, причем процесс резки сопровождается повышением температуры в зоне резки, что приводит к нагреву материала, обрабатываемого самим режущим инструментом. Таким образом, это приводит к тому, что пильный диск также работает на трение. В процессе резки пила также испытывает вибрационные нагрузки, а зубья режущей части могут испытывать ударную нагрузку. Из-за неоднородности обрабатываемого материала пилы ленточно-отрезных машин также часто испытывают временные перегрузки. Схемы загрузки пилы показаны на рис. 5-7.

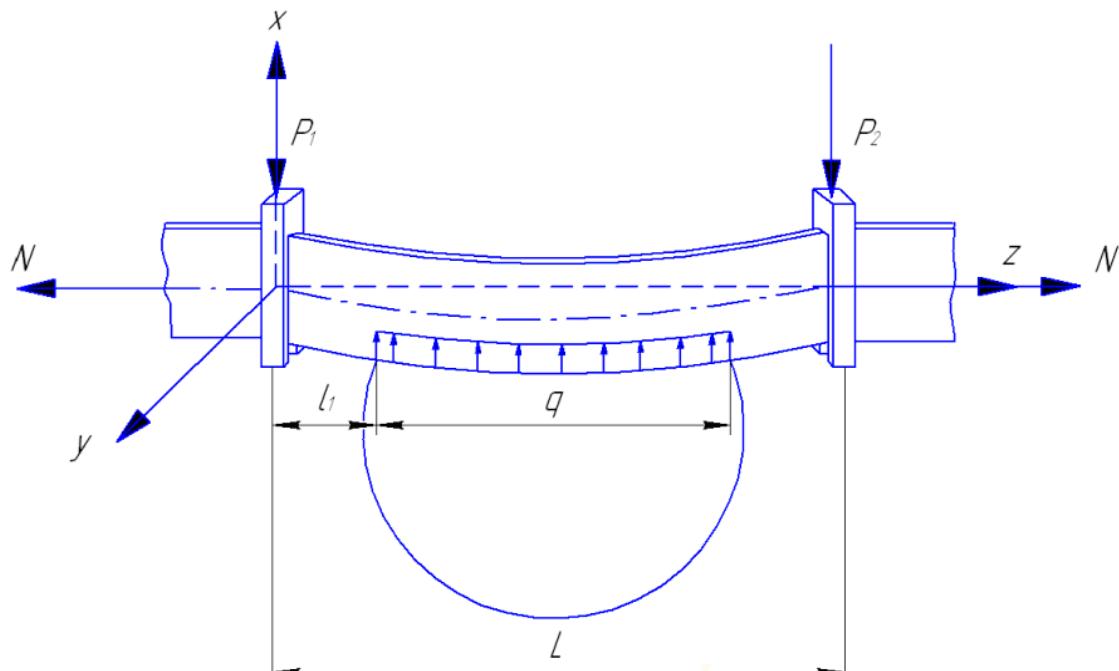


Рис. 5. Схема загрузки пилы в вертикальной плоскости: L - участок пилы между направляющими; l - линия отреза; q - распределенная вертикальная нагрузка, постоянная по величине вдоль линии разреза; s - шаг пилы; z - вдоль пилы, y - перпендикулярно плоскости пилы, x - в плоскости пилы, перпендикулярной оси z; P1 и P2 - вертикальные силы, возникающие в направляющих в результате распределенной нагрузки; Н - растягивающая сила

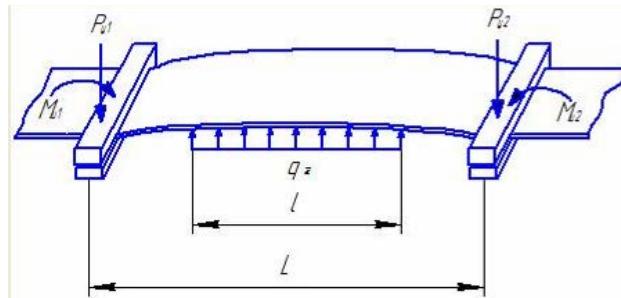


Рис. 6. Схема загрузки пилы в горизонтальной плоскости: q_z - небольшая горизонтальная составляющая распределенной силы резания, действующая на зубья пилы; P_{y1}, P_{y2} - силы реакции; $M_{1,2}$ - моменты реакций

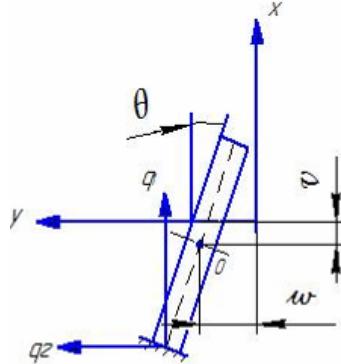


Рис. 7. Крутильная нагрузка пилы

Анализ условий работы пилы проводился как экспериментально, так и на программном комплексе ANSYS (см. рис. 8-12).

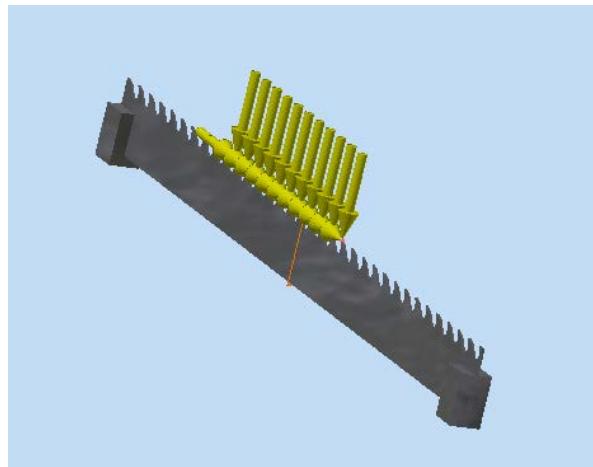


Рис. 8. Моделирование загрузки

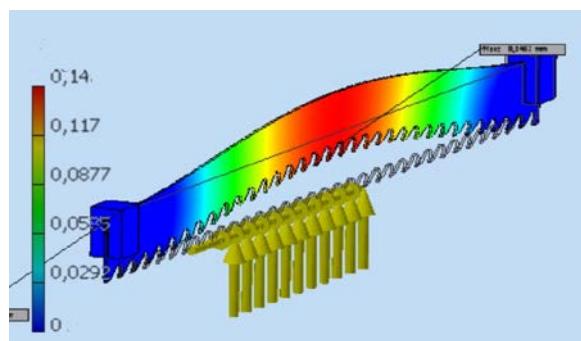


Рис. 9. Результаты моделирования нагрузки

Согласно полученным данным, был сделан вывод, что наиболее уязвимой точкой ленточной пилы является место, где полотно приваривается к кольцу, поскольку сварные швы плохо работают при переменной нагрузке. Однако альтернативы сегодня не существует, поскольку в соответствии с требованиями технологичности и места

соединения не должно быть выступов накладок и т. д. Поэтому для снижения чувствительности к переменным нагрузкам этой секции ленточной пилы различные методы термической или термомеханической обработки используются для нормализации структуры в сварном шве и зонах сварки. Кроме того, это позволяет уменьшить остаточные напряжения, возникающие после сварки в результате разницы в структурах материала из-за различных температур нагрева материала при их удалении от сварного шва, что может соответствовать закалке, отпуску, отжиг и др. температуры.

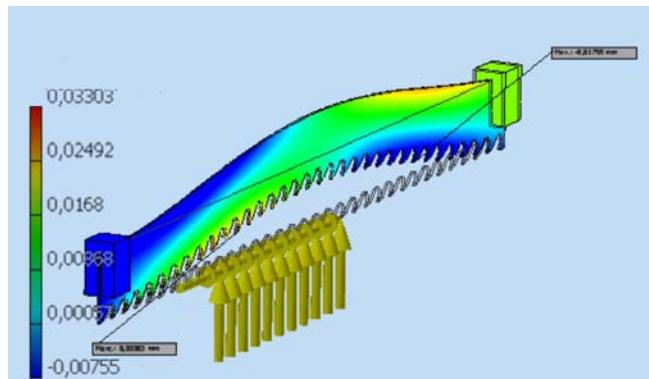


Рис. 10. Результаты моделирования нагрузки. Смещение координат x

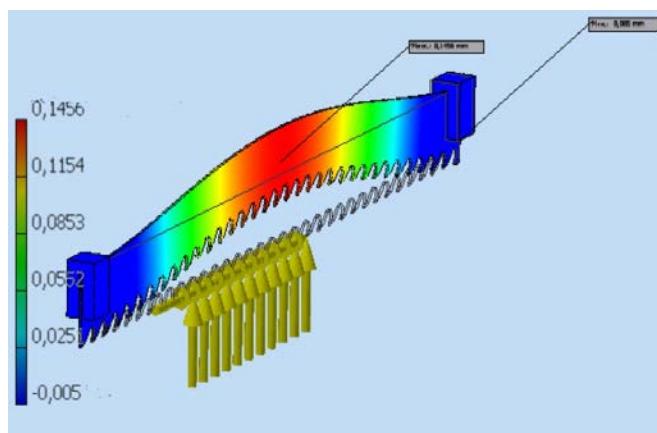


Рис. 11. Результаты моделирования нагрузки. Сдвиг координат y

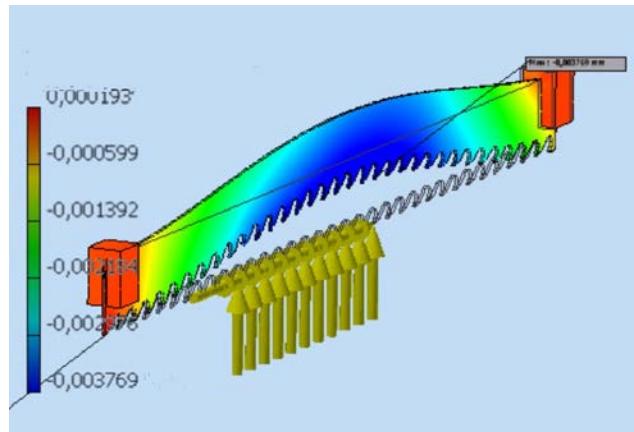


Рис. 12. Результаты моделирования нагрузки. Смещение координат z

Из-за различий в требованиях к физико-механическим свойствам пильного полотна и режущей части пилы возникает необходимость в изготовлении пилы с композитной структурой, которая позволила бы пиле, которая удовлетворяла бы всем условиям, предъявляемым как к полотну, так и к режущей части. Изготовление пилы из одного материала, как для режущей части, так и для полотна с последующей термической и термомеханической обработкой, не дает пиле, отвечающую требованиям современных режущих инструментов. Таким образом, альтернативой было изготовление биметаллической пилы, которая состояла бы из двух материалов - один из которых используется для изготовления полотна, а другой приваривается с помощью лазерной сварки к полотну и используется в качестве материала зубьев режущая часть пилы. Однако в дополнение к ограничениям на свариваемость материалов существует технологическое ограничение, поскольку в результате сложной нагрузки, а также из-за влияния температуры на пилу в результате трения пилы о заготовку, место сварки полотна и режущей части также является уязви-

мым местом. Альтернативным решением для создания биметаллического композита для пил может быть технология создания покрытий на режущей части пилы из специальных материалов. Однако существующие технологии, позволяющие получать такие покрытия, также имеют недостатки. В качестве недостатка можно отметить низкую адгезию или небольшую толщину такого покрытия. Таким образом, наиболее подходящей технологией для создания биметаллического композита для пилы из одного материала является технология локального легирования, которая позволяет изготавливать пилу из материала, который удовлетворяет материалу пильного полотна в соответствии с его физико-механическими свойствами. Как правило, для этой цели используются стали из пружинной стали, среди которых сталь 65, которая, помимо своей устойчивости к переменным нагрузкам, также обладает высокой виброустойчивостью.

Результирующая во время работы вибрация инструмента отрицательно влияет не только на работу самого оборудования, срок службы, точность обработки и т. д., но также и на сопротивление самого инструмента, поскольку вибрации можно отнести к Форма переменных нагрузок изменяется со временем на высокой частоте, поворот ускоряет процесс усталостного разрушения инструмента. Также вибрации могут ускорять распространение трещин в инструменте и способствовать накоплению дислокаций с образованием микротрецшин и их дальнейшему росту. Во время вибрации инструмент также нагревается, и, как известно, физические и механические свойства материала изменяются с повышением температуры. Все это указывает на необходимость избегать возникновения вибрации в приборе, дополнительно вводить системы гашения вибрации и в тех случаях, когда нельзя избежать виброустойчивых материалов.

Для изготовления лезвий ленточных пил материалы, используемые в пружинах и пружинах, которые способны поглощать и гасить возникающие колебания, применяются в качестве правил, однако использование этих материалов для режущей части инструмента недопустимо. Поскольку такие материалы не обладают достаточными характеристиками для режущей части инструмента [3].

Заключение. В будущем следует проводить локальное легирование режущей части пилы с последующей термической и термомеханической обработкой, что позволит получить режущую часть, отвечающую всем требованиям современного режущего инструмента с точки зрения его характеристик. В свою очередь, применение технологии локального легирования позволяет осуществлять это благодаря уникальным особенностям, таким как предварительная развертка, которая, в свою очередь, позволит проводить грубую обработку материала с более низкими физическими и технологическими свойствами, что облегчит процесс изготовления пилы и, как следствие, сделает ее более технологичной для производства ленточных пил.

Список литературы

1. Litvinov A.E. Improving tool life and machining precision in band saws. Russian engineering research 2016. № 9. С. 761-760.
2. Litvinov A.E., Novikov V.V., Chukarin A.N. Noise reduction for multiblade rip saws // Russian Engineering Research. 2017. Т. 37. № 9. С. 807-808.
2. Рублевская Е.В., Комарова П.А., Щербакова А.В., Хуснутдинов Т.Д., Раменская Е.В. Анализ параметров процесса резания ленточными пилами // Актуальные проблемы авиации и космонавтики, 2017. Том 1. С. 35-36.
3. Литвинов А.Е., Чукарин А.Н. Исследование шумов и вибрации отрезных круглопильных станков // Политехнический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) №122/026 2016. С. 357-365.
4. Литвинов А.Е., Корниенко В.Г. Чукарин А.Н. Оценка влияния резонансной частоты колебаний системы "пила-направляющая пилы" на процесс резания ленточными пилами // Научный журнал КубГАУ №2(96), 2014. С. 432-441.
5. Бледнова Ж.М., Русинов П.О., Балаев Э.Ю. Повышение эксплуатационных свойств изделий формированием поверхностных композиций из материалов с эпф с градиентом свойств и температур фазовых превращений // Современные научно-исследовательские технологии. 2016. № 9-3. С. 378-384.
6. Бледнова Ж.М., Русинов П.О., Балаев Э.Ю. Количественная оценка наследственных закономерностей формирования и трансформации поверхностного слоя многокомпонентных материалов с памятью формы при высокоенергетическом воздействии // Материалы сегодня: Труды. 2017. С. 4652-4657. DOI: 10.1016/j.matpr.2017.04.046.
7. Ласкин Г.П., Кузнецов А.П. Моделирование процесса ионно-плазменного легирования // Вестник ТумГУ, 2010. Том 6. С 64-67.

Сизо Алан Анзорович, аспирант, Россия, Краснодар, Кубанский государственный технологический университет,

Литвинов Артем Евгеньевич, д-р техн. наук, профессор, artstyleone@mail.ru, Россия, Краснодар, Кубанский государственный технологический университет

REVIEW OF THE CURRENT STATE AND TECHNOLOGIES FOR IMPROVING THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF BAND SAWS

A.A. Sizo, A.E. Litvinov

The article describes the structure of technologies for increasing the strength of the cutting part of the saw. The article also presents the results of the analysis of existing technologies (metallization and surfacing, welding, alloying methods) that allow obtaining a composite with specified characteristics. The described technologies, as a rule, are characterized by the creation of a composite laminate based on the application of coatings, which, when assessing productivity, introduces an additional criterion of adhesive strength. This, in turn, is the main criterion for the operational characteristics of the cutting tool.

Key words: metallization and surfacing, welding, alloying methods, band saw.

Sizo Alan Anzorovich, postgraduate, Russia, Krasnodar, Kuban State Technological University,

Litvinov Artem Evgenievich, doctor of technical sciences, professor, artstyleone@mail.ru, Russia, Krasnodar, Kuban State Technological University

УДК 620.97
DOI: 10.24412/2071-6168-2024-12-366-367

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ВНУТРЕННЕЙ КОНИЧЕСКОЙ РЕЗЬБЫ ПРИ РЕЗЬБОНАКАТЫВАНИИ

В.В. Куц, Д.А. Зубков, О.С. Зубкова

В статье рассматриваются вопросы расчета погрешности формообразования поверхности внутренней конической замковой резьбы для схемы формообразования вращающимся резьбонакатным инструментом с использованием методов математического моделирования. Определяется влияние формы накатного инструмента, спрофилированного на разных участках поверхности резьбы, диаметра накатного инструмента, угла подъема инструмента при резьбонакатывании на величину погрешности поверхности резьбы. Полученные результаты могут быть учтены при проектировании накатного инструмента.

Ключевые слова: внутренняя коническая резьба, замковая резьба, резьбонакатывание, накатной инструмент, погрешность, схема формообразования.

Резьбовые соединения различных типов широко применяются в современной технике. По данным источника [1] в изделиях машиностроения на долю резьбовых приходится 18-20 % от всех соединений. Одним из факторов влияющим на эксплуатационные характеристики резьбы является точность ее изготовления. Для конических замковых резьб, применяемых в буровых установках и нефтегазовом оборудовании точность геометрических параметров резьбы влияет на распределение напряжений в телах деталей и на их контактных поверхностях, прочность, износостойкость и как следствие – надежность и безопасность эксплуатации [2-4].

Оценить погрешности профиля резьбы можно выполнив математическое моделирование процесса обработки. Так в работе [5] рассматриваются вопросы математического моделирования профиля резьбы при обработке резцом на станках с ЧПУ.

В качестве еще одного способа формообразования внутренней конической замковой резьбы может быть рассмотрено накатывание [6-9]. Рассмотрим одну из схем формообразования, представленную на рис. 1. Накатной инструмент, имея соосное расположение с осью (1) заготовки, совершают вращение D_t вокруг своей оси (2) и линейное перемещение S по двум осям вдоль конуса заготовки (4). Заготовка совершает вращение D_z . Производящая поверхность (5) формируется как огибающая накатного ролика (6) с осью (3).

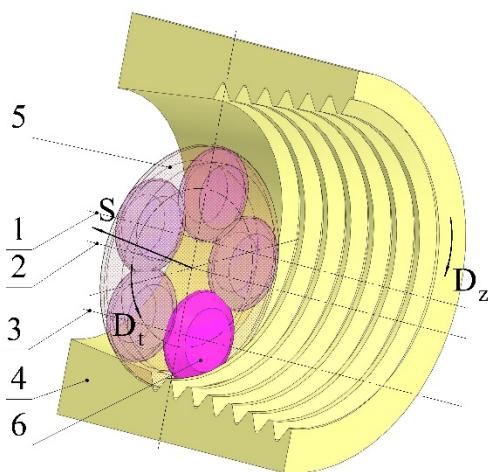


Рис. 1. Схема формообразования внутренней конической резьбы накатыванием

Определить погрешности обработки внутренней конической резьбы можно сопоставив номинальную поверхность резьбы с поверхностью резьбы, полученной в ходе работы накатного инструмента. Математическая модель поверхности вращающегося накатного инструмента подробно рассмотрена в работе [10].