



УДК 621.9

© Ю. И. Мулин, О. В. Казанников, В. Д. Власенко, 2011

УПРОЧНЕНИЕ ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРО-ИСКРОВОЙ ОБРАБОТКИ

Мулин Ю. И. – д-р техн. наук, проф. кафедры «Техническая эксплуатация и ремонт автомобиля», тел. (4212) 37-51-99; *Казанников О. В.* – ст. преп. кафедры «Техническая эксплуатация и ремонт автомобиля», тел. (4212) 51-61-06; *Власенко В. Д.* – канд. ф.-м. наук, доцент кафедры «Прикладная математика», тел. (4212) 22-73-09 (ТОГУ)

Исследуется процесс упрочнения режущих инструментов ленточнопильных станков с формированием на их рабочих поверхностях функциональных покрытий методом электроискровой обработки (ЭИО). Установлены электродные материалы, обеспечивающие повышение износостойкости ленточных пил, технологические режимы электроискровой обработки для формирования покрытий высокой прочности сцепления с металлом подложки и меньшей шероховатостью.

Hardening of cutting tools of bandsaw machines with formation on their working surfaces of functional covers with electro spark processing is investigated. The electrode materials providing enhancement of wear resistance of band saws and also technological modes of electro spark processing for the formation of coverings of high durability and smaller roughness are established.

Ключевые слова: покрытия, ленточные пилы, прочность сцепления с основой, приведенная энергия, износостойкость.

В настоящее время большое применение в лесной промышленности находят ленточнопильные станки. Можно отметить следующие преимущества по сравнению с используемыми в производстве лесопильными рамными и круглопильными станками: уменьшение ширины пропила, большая производительность (в 2–2,5 раза по сравнению с вышеуказанными станками), значительная экономичность (до 5 млн. руб. в год при эксплуатации ленточнопильного станка).

Ленточные пилы различных видов и материалов являются режущим инструментом, используемым в ленточнопильных станках.

Древесина разных пород имеет неодинаковые физико-механические свойства. Различная плотность, прочность на растяжение, сжатие и скалывание делают сложным процесс резания. Учитывая особенности работы лен-

точных пил определяется необходимым повышением их стойкости между переточками. Для повышенной износостойкости режущих инструментов известны многие методы упрочнения: оснащение зубьев инструмента пластинами твердого сплава; электроконтактная закалка и закалка зубьев в поле ТВЧ; использование технологий химико-термической или термомеханической обработки, и другие.

Однако не все эти методы упрочнения оптимальны, экономичны и реализуются на лесопильных участках. Предлагается использовать метод электроискровой обработки (ЭИО), который позволяет в несколько раз улучшить эксплуатационные показатели пил с обеспечением их функциональных характеристик. При этом возникают возможности образования материалов с заранее заданными свойствами, отвечающими условиям эксплуатации инструмента.

Эффект поверхностного упрочнения достигается за счет повышения не только твердости, а также износо- и жаростойкости рабочей поверхности.

Технология электроискровой обработки обладает существенными достоинствами: не требует специальной подготовки поверхностей; обеспечивает высокую прочность сцепления покрытия с основным материалом; не изменяет структуру металла; позволяет экономить дорогостоящие инструментальные стали и использовать в качестве легирующих материалов как чистые металлы, так и многие сплавы; не имеет температурных деформаций; отличается простотой технологического процесса.

В качестве объекта исследования были выбраны пилы "Uddeholm" профилированные в Литве или России, которые имеют применение на Дальнем Востоке. Для изготовления применяются сталь типа 5ХГМ (сталь инструментальная штамповая) со следующим химическим составом в %: С = 0,50...0,60; Si = 0,25...0,60; Mn = 1,20...1,60; Cr = 0,60...0,90; Mo = 0,15...0,30; S, P, – не более 0,030; Ni – не более 0,35. Ленточные пилы закалены с равной твердостью по всей ширине до $HRC_3 = 44...46$ ед.

Электродные материалы выбраны с учетом характера взаимодействия металлов и различных элементов в твердом состоянии. Лучшие характеристики покрытий обеспечивают материалы электродов, образующие неограниченные твердые растворы, имеющие близкие значения коэффициентов температурного расширения и теплопроводности с материалом пилы [1]. В соответствии с изложенными положениями для упрочнения ленточных пил из стали 5ХГМ выбраны следующие электродные материалы: твердые сплавы ВК6, Т15К6, электроды из хрома (Cr), высоколегированной стали 11Х15Н25М6АГ2, сплав W-Cr-Co. Последний электродный материал получен методом алюминотермии из минерального сырья и имеет следующие основные процентные показатели состава: W – 52 %, Cr – 24 %, Co – 19 %.

Для упрочнения была выбрана установка ЭИО модели ТОГУ-02, которая встраивается в технологический процесс заточки и разводки зубьев с использованием уже имеющейся технологической оснастки.



Выполнены следующие исследования: определение прочности сцепления покрытий с основой, определение шероховатости и волнистости поверхностей покрытий; исследование покрытий на жаростойкость, исследования износостойкости ленточных пил после упрочнения и их промышленные испытания.

Прочность сцепления формируемых покрытий с основным металлом определялась при использовании пресса УМ-5А, обеспечивающего нагружение штока, имеющего перемещение с постоянной скоростью, измерение нагрузки с погрешностью не более 1 % и специального приспособления в соответствии с положениями, приведенными в [2, 3]. Схема испытания покрытий на прочность сцепления с основой при сдвиге приведена на рис. 1.

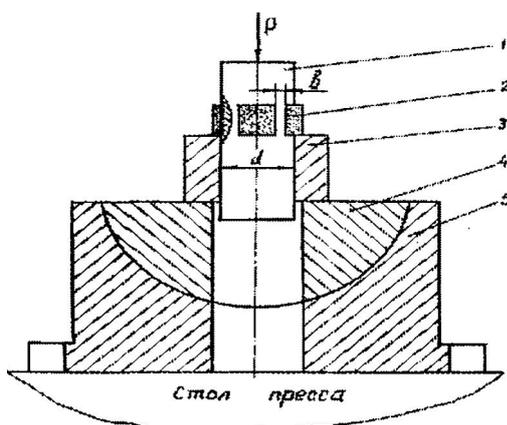


Рис. 1. Схема испытания покрытий на прочность сцепления с основой:
1 – плунжер, 2 – покрытие, 3 – втулка, 4 – сферическая опора, 5 – приспособление

При нагружении образца осевой силой P происходит отделение слоя покрытия с основного металла. Предел прочности сцепления покрытия с основным металлом при сдвиге (срезе) определяется по формуле: $\tau_{ср} = P/F$, где P – максимальная нагрузка, предшествующая разрушению покрытия; F – площадь покрытия. Чтобы исключить влияние объемных напряжений усадки материала покрытия на прочность сцепления, прорезали в поясах покрытия пазы шириной $b = 0,2\pi d$, где d – диаметр образца. Испытания каждого варианта покрытия на образцах выполнены количеством не менее шести. Характеристики и результаты испытаний приведены в табл. 1.

Шероховатость поверхностей покрытий исследовали с помощью профилографов-профилометров мод. «Калибр 201», мод. «Калибр 296». Оценка шероховатости выполнялась в соответствии с ГОСТ 2789-73 при определении следующих параметров: высотных (R_a , R_z , R_{max} , R_p), шаговых (S , S_m), относительной опорной длины профиля (t_p) по методике [5, 6].

Зависимости параметра шероховатости R_a от величины приведенной энергии ($W_{п}$) для исследуемых материалов электродов при частоте следова-

ния импульсов $f_{и} = 100 \dots 600$ Гц приведены на рис. 2. Приведенная энергия ($W_{п}$) является изменяемым параметром процесса электроискровой обработки и применяется вместо кинетического показателя (t) времени [7]. Результаты исследования показывают, что зависимость является возрастающей.

Таблица 1

Характеристики сформированных покрытий и усредненные результаты испытаний на срез

Электродные материалы	Средняя толщина покрытия h , мкм	Средние напряжения среза $\tau_{ср}$ покрытия, МПа	Допускаемые напряжения среза $[\tau_{ср}]$ по справочным данным, МПа
Cr	60	100,0	60–70 [4]
11X15H25M6AГ2	70	98,0	98–105 [4]
BK6	50	84,0	175 [4]
T15K6	40	86,0	–
W – Cr – Co	75	102,3	–

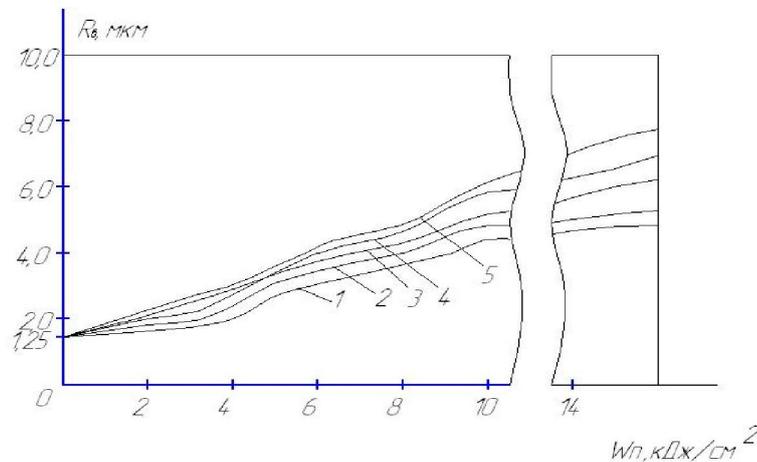


Рис. 2. Зависимости шероховатости образуемых покрытий от величины приведенной энергии при ЭИО на подложках из 5ХГМ ($R_a = 1,25$ мкм); материалы электродов: 1 – T15K6; 2 – BK8; 3 – W-Cr-Co, 4 – Cr, 5 – 11X15H25M6AГ2

Исследование жаростойкости на подложках из стали 5ХГМ выполняли на дериватографе Q-1000 в соответствии с ГОСТ 6130-71 и ГОСТ 21910-76 [9]. Нагрев осуществляли линейно со скоростью 20 град./мин. до температуры 900 °С с последующей выдержкой в течение 6 часов и охлаждением с печью до комнатной температуры.

Контроль выполнялся по кривым дифференциального термического анализа (ДТА), кривым скорости изменения массы (ДТГ) и изменению массы в зависимости от температуры (ТГ). Сравнительная оценка выполняется по



величине удельного прироста массы $q = \Delta m / s$ в период нагрева через каждые 20 мин, где Δm – прирост массы, возрастающий во времени, s – площадь поверхности образца. Результаты исследования образцов на жаростойкость и режимы обработки приведены в табл. 2

Таблица 2

Результаты исследования на жаростойкость образцов

Материал подложки	Материал электрода	Технологический параметр $W_{\text{п}}$, Дж/см ²	Толщина покрытия, мкм	Удельный прирост массы образцов, г/м ²	Увеличение жаростойкости, раз
5ХГМ	Cr	8,1	30	32,6	2,1
	T15K6	8,8	39	81,7	1,2
	BK6	9,1	61	75,6	1,3
	11X15H25M6A Г2	9,3	89	44,5	1,6
	W-Cr-Co	9,2	82	75,4	1,3

Сравнительные испытания износостойкости упрочненных образцов из свежеспиленной лиственницы выполнены в условиях трения без смазки на машине трения МТ-22П по схеме «вал-колодка» в соответствии с ГОСТ 23.222-84. Удельная нагрузка на образцы составляла 100 Н. Кинетика изнашивания стали с покрытиями приведена на рис. 3. Образцы для испытаний вырезались из полотен ленточных пил размерами 20x35 мм, взвешивались на аналитических весах ВЛР –200 с точностью до 0,0002 г, и обрабатывались электродными материалами в соответствии с табл. 2. Легирование каждого образца составляло две минуты. Повторяемость эксперимента равна трем. Скорость скольжения по контртелу составляла 0,25 м/с. Базой испытания был принят путь трения, равный 400 м. Износ образцов измерялся через каждые 50 м пути трения. Износостойкость слоя определялась с помощью специального устройства, и взвешивания. Для сравнения использованы данные износа образца без покрытия. По полученным значениям интенсивности изнашивания образца и контротела строили график изменений массы в зависимости от пути трения (рис. 3).

Можно видеть, что кривые существенно отличаются. Для всех образцов кривая имеет три характерных участка: I – участок приработки; II – участок установившегося режима трения; III – участок интенсивного износа.

Оценивая сравнительные результаты износостойкости покрытий из испытанных материалов по сравнению с износостойкостью покрытий, образующих твердыми сплавами BK6 и T15K6, в качестве заменителя можно предложить электродный материал: W-Cr-Co.

Промышленные испытания ленточных пил выполнены на действующем оборудовании производственного ремонтно-строительной группы АХР при

ТОГУ на станке МГ-6500 и Хорского предприятия ООО «Проект» на станке МГ-6500М.

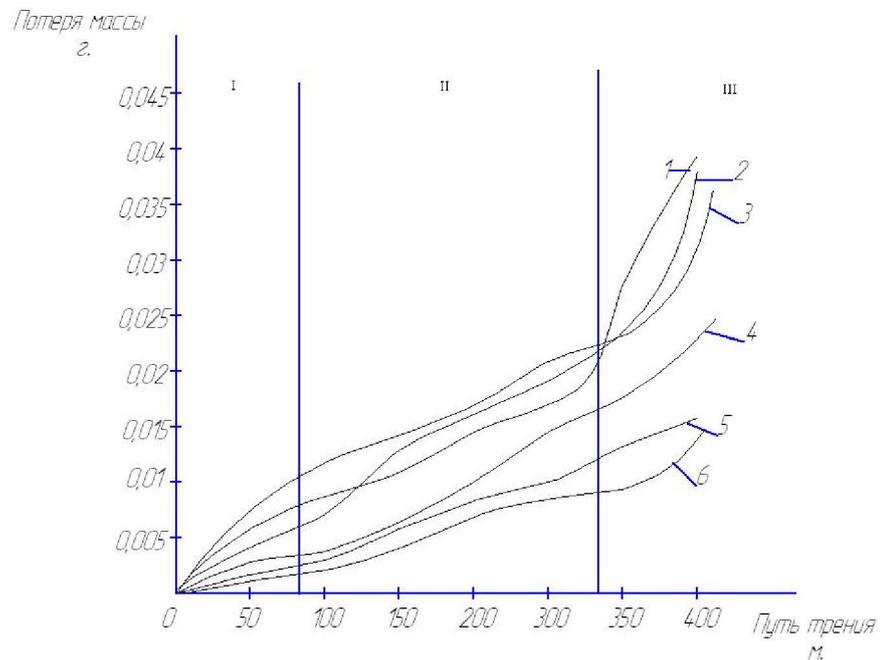


Рис. 3. Зависимость потери массы образца от пути трения: 1 – без покрытия; 2 – 11X15H25M6AG2; 3 – Cr; 4 – W-Cr-Co; 5 – T15K6; 6 – BK8

Методика проведения промышленных испытаний соответствует рекомендациям предлагаемому паспорту при эксплуатации станков. Режим работы – односменный. Вид обрабатываемой древесины – хвойные породы. Средняя наработка ленточных пил до заточки – 4 м³. Среднее количество ленточных пил на одну смену – 2 шт. Продолжительность смены – 8 часов. В качестве оснастки для установки и закрепления пилы при упрочнении использовалось штатное приспособление для разводки зубьев (рис. 4).

В результате выполненных производственных испытаний установлено, что срок службы упрочненных ленточных пил повысился от 2,3 до 2,8 раза по сравнению с неупрочненными.

Основные выводы

1 Прочность сцепления покрытий, сформированных ЭИО, находится на уровне методов наплавки.

2. Шероховатость покрытий при ЭИО превышает шероховатость поверхности основы, повторная обработка ЭИО поверхности покрытия графит-



товым электродом значительно уменьшает шероховатость и период приработки, улучшает сплошность.

3. Покрытия повышают жаростойкость поверхности в 1,2–2,1 раза.

4. Износостойкость рабочих поверхностей плоских пил после ЭИО увеличивается в 1,5 раза, срок службы увеличивается от 2,3 до 2,8 раза.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», госконтракт 02.740.11.0626.



Рис. 4. Общий вид оснастки для разводки зубьев и их упрочнения

Библиографические ссылки

1. *Верхотуров А. Д.* Формирование поверхностного слоя металлов при электроискровом легировании / А. Д. Верхотуров. – Владивосток: Дальнаука, 1995.
2. *МР 250-87.* Определение прочности сцепления газотермических покрытий с основным металлом. – М.: ВНИИНМАШ. – 1987.
3. *Мулин Ю. И.* Исследование прочности сцепления покрытий ЭИЛ со стальной основой / Ю. И. Мулин, А. Н. Вишневский, Л. А. Климова // Строительные и дорожные машины: Сб. научн. трудов. – Хабаровск: Гос. техн. ун.-т., 2002. – Вып. 2.
4. *Материалы в машиностроении.* Справочник / Под ред. И. В. Кудрявцева. – Т. 4. – М.: Машиностроение, 1969.
5. *Характеристики* микрогеометрии, определяющие контактное взаимодействие шероховатых поверхностей (методика определения). – М.: Наука, 1973.
6. *Параметры* микрогеометрии и задиростойкость поверхностей, образованных



электроискровой обработкой / Ф. Х. Бурумкулов // Сварка Урала. – Нижний Тагил, 2001.

7. Мулин Ю. И. Верхотуров А. Д. Электроискровое легирование рабочих поверхностей инструментов и деталей машин электродными материалами, полученными из минерального сырья / Ю. И. Мулин. – Владивосток: Дальнаука, 1999.

8. Гитлевич А. Е. Электроискровое легирование металлических поверхностей / А. Е. Гитлевич, В. В. Михайлов, Н. Я. Парканский, В. М. Ревуцкий. – Кишинев: Штиинца, 1985.

9. Мулин Ю. И. Повышение износо- и жаростойкости поверхностей титановых сплавов / Ю. И. Мулин // Вестник машиностроения. – 2006. – № 8.

10. ГОСТ 23.222-84. Обеспечение износостойкости изделий. Методы оценки фрикционной теплостойкости материалов. – М.: Стандарты, 1984.