

РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОГО МЕТОДА УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ЛЕНТОЧНОПИЛЬНЫХ СТАНКОВ

А.Е. Литвинов, В.Ю. Бузько, А.А. Сизо

В статье представлены результаты разработки комбинированного способа упрочнения детали, применяемого при изготовлении режущего инструмента для ленточнопильных металлорежущих станков, работающего в условиях изнашивания и знакопеременных нагрузок.

Ключевые слова: высокоэнтропийные сплавы, механическая активация, механическое легирование, покрытия, высокоскоростное кислородно-топливное напыление, структура, фазовое состояние.

Одним из распространенных методов обработки металлов резанием является отрезные операции, являющейся важной заготовительной технологической операцией, с которой начинается весь процесс превращения заготовки в будущую деталь. Наиболее эффективным и производительным видом оборудования, осуществляющим данный вид обработки, являются ленточно-отрезные станки, использующие в качестве режущего инструмента замкнутые ленточные пилы. Поскольку в современном производстве все чаще применяются материалы с высокими физико-механическими характеристиками (твердость, прочность и др.) что значительно усложняет процесс резания и предъявляет повышенные требования к режущему инструменту. Для расширения номенклатуры обрабатываемых материалов, для которых возможно производительное использование ленточно-отрезных станков появилась необходимость создания ленточной пилы с более высокими характеристиками резания. При этом специфика условий работы ленточной пилы показывает, что полотно должно иметь такие характеристики как повышенная вибрационная стойкость, стойкость к знакопеременным и динамическим нагрузкам, а режущая часть пилы должна обладать повышенной стойкостью к ударным, динамическим, знакопеременным нагрузкам, иметь высокую твердость, а также повышенную износостойкость. [1,2]

С учетом условий работы данного режущего инструмента были разработаны биметаллические пилы, представляющие собой сварную конструкцию, состоящую из твердосплавной вершины зубьев, обладающей высокими значениями микротвердости, стойкостью к износу и основы полотна из рессорно-пружинной стали, обладающей повышенной стойкостью к вибрационным и знакопеременным нагрузкам. Однако такой инструмент чувствителен к ударным и динамическим нагрузкам, которые могут возникать в процессе резания при врезании зуба в обрабатываемый материал (при неоднородности структуры материала из-за наличия твердых включений, в случае пор в обрабатываемом материале, при заклинивании и заедании полотна пилы и др.) и приводят к поломке зубьев, у основания и по месту проведения сварки или местах, ослабленных после проведения операции сваривания полотна с режущей кромкой. Таким образом, наиболее распространенная на сегодняшний день технология производства ленточных пил, не полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым современным уровнем развития машиностроения. [3]

Однако идея создания слоистого композита является одним из верных направлений для решения данной проблемы. Так, слоистый композитный материал показал себя работоспособным в условиях сложного нагружения на других изделиях машиностроения и твердо укрепил свои позиции в производстве, так как при правильном анализе условий работы изделия, будь то деталь или режущий инструмент, в частности полотно ленточной пилы, можно обнаружить, что та или иная зона или слой могут работать на конкретный тип нагружения. Следовательно, его можно изготовить из материала с характеристиками, удовлетворяющими данным условиям нагрузки. Таким образом, на основании проведенного анализа условий нагружения при работе полотна ленточной пилы была предложена идея биметаллической пилы, которая является верным направлением решения возникающей проблемы, но основным недостатком является наличие сварного соединения чувствительного к вибрации, динамическим и ударным нагрузкам, а также сложностью получением бездефектного сварного шва. Альтернативой может стать поверхностное плазменное легирование зубьев полотна ленточной пилы, позволяющей значительно изменить физико-механические характеристики материала режущей кромки зубьев (который будет материалом всего полотна ленточной пилы – рессорно-пружинная сталь). При этом, на выходе получается слоистый композит с высокой адгезией, сравнимой по значению с металлургической, так как легируется материал полотна ленточной пилы, который также является материалом основы, а при верно выбранных режимах удастся снизить до нуля значения возможной остаточной деформации в результате термообработки. [4]

Для проведения исследований использовалось следующее оборудование, представленное на рисунке 1: ленточнопильный станок JET (проведение испытаний полученных пил в условиях, приближенным к заводским), микротвердометр Falcon 500 (испытания на микротвердость для предварительного анализа износостойкости), Instron 8801 (проверка на усталостную прочность), установка плазменного легирования (непосредственно проведение легирования), ТВЧ.

При предварительном поверхностном локальном легировании из обмазки с использованием нагрева, в качестве материалов обмазки применялись легирующие компоненты хром, марганец, титан при следующем соотношении, мас. %: Cr – 48-49, Mn – 48-49, Ti – 2-4.

При разработке данной технологии за основу был принят способ низкотемпературного азотирования стальных деталей, включающий предварительное поверхностное локальное легирование нитридообразующими элементами при лазерном нагреве деталей с нанесенной на их поверхность обмазкой и последующем низкотемпературном азотировании, включающем нагрев до заданной температуры, выдержку и охлаждение, при этом перед азотированием проводят процесс термодиффузионного насыщения легирующими нитридообразующими элементами при нагреве до температуры $T=690-710^{\circ}\text{C}$ с выдержкой в течение 3-4 ч, а последующий процесс азотирования ведут при нагреве до температуры $T=570-590^{\circ}\text{C}$ с выдержкой в течение 6-8 ч в среде аммиака. Недостатком данного способа является низкая ударная стойкость и повышенная хрупкость получаемого изделия.

Использование в процессе предварительного локального легирования плазменной дуги для нагрева позволяет повысить износостойкость обрабатываемой поверхности детали, за счет возможности использования в составе обмазки металлов с высокой температурой плавления, образующих твердые карбидные фазы (CrC, MnC, TiC), а применение при этом защитной атмосферы аргона позволяет использовать в составе обмазки для легирования активные элементы (такие как Ti), избегая их возможного окисления с образованием оксидных фаз.[5]

Повышение температуры диффузионного насыщения до 760-850 °С, при времени выдержки 2-2,5 часа, обеспечивает равномерное распределение легирующих элементов по всему объему легируемого участка детали на глубину до 0,5 мм за счет сообщения необходимого количества энергии для диффузионного передвижения атомов легирующих компонентов в материале детали.



Рис. 1. Оборудование, использовавшееся при проведении исследований: а – ленточнопильный станок JET; б – микротвердомер Falcon 500; в – Instron 8801

Использование в качестве легирующих компонентов хрома, марганца и титана при следующем соотношении, мас. %: Cr – 48-49, Mn – 48-49, Ti – 2-4, позволяет повысить стойкость к знакопеременным и ударным нагрузкам, и износостойкость. В частности использование в качестве легирующих компонентов обмазки хрома и марганца, ускоряет процесс диффузионного насыщения, обеспечивая их равномерное распределение по всему сечению на заданной глубине, обладая хорошей растворимостью благодаря незначительному различию в атомарных радиусах у хрома и марганца вместе с железом, а также повышает эффективность и скорость процесса цементации за счет снижения температуры фазового превращения α в γ железо (при нагревании), при этом гранецентрированная кристаллическая решетка, соответствующая γ -железу дает возможность повысить эффективность и скорость процесса цементации за счет лучшей растворимости углерода в сравнении с α -железом. В свою очередь при цементации ТВЧ происходит насыщение стали углеродом, который совместно с марганцем и хромом образует твердые карбидные фазы. Легирование стали хромом и марганцем с последующей цементацией позволяет получить CrC (карбид хрома) и MnC (карбид марганца), повышающие твердость и износостойкость рабочей поверхности детали, а сам марганец позволяет повысить сопротивление ударным нагрузкам, обеспечить наклепываемость в холодном состоянии, что приводит к повышению износостойкости рабочей поверхности детали во время эксплуатации. Экспериментально установлено, что использование Ti в составе обмазки в количестве 2-4 мас.% положительно влияет на повышение ударной вязкости легируемого материала, а также стойкости к ударным и знакопеременным нагрузкам в результате измельчения зерен структуры легируемого слоя. Также в процессе цементации детали ТВЧ при температуре 1200-1250 °С в течение 20-30 минут Ti образует карбидную фазу TiC которая обладает высокой твердостью и значительно повышает износостойкость. При этом внесение в состав обмазки Ti в количестве менее 2 мас.% не оказывает значительного влияния на изменение физико-механических свойств легируемого слоя упрочняемой детали из стали, а более 4 мас.% приводит к повышенному содержанию труднорастворимых при нагреве карбидов титана, которые располагаясь по границам зерен, способствуют хрупкому разрушению.[6,7]

Использование ТВЧ для нагрева поверхности детали до температуры 1200-1250°С со временем выдержки в течение 20-30 минут при цементации позволяет атомам углерода проникнуть в цементируемую деталь на глубину до 0,5 мм с образованием карбидных фаз, как с легирующими компонентами, так и с материалом детали. При этом применением ТВЧ совместно с углеродной обмазкой при цементации позволяет проводить её локально за счет направленного нагрева обрабатываемого участка, не воздействуя температурой на весь объем детали.

К тому же совокупность предлагаемых признаков позволяет избежать увеличения зернистости материала упрочняемой детали, которое приводит к ее охрупчиванию, снижению прочности по ударной вязкости, а также снижению износостойкости и устойчивости к знакопеременным нагрузкам. [8]

Способ поверхностного упрочнения детали из стали реализуется следующим образом.

На упрочняемую поверхность детали из стали наносят слой обмазки, содержащей легирующие компоненты Cr, Mn, Ti при следующем соотношении, мас. %: Cr – 48-49, Mn – 48-49, Ti – 2-4, затем проводят нагрев плазменной дугой поверхности с нанесенной обмазкой с образованием очагов легирования. После нагрева плазменной дугой проводят термодиффузионное насыщение при температуре 760-850 оС с выдержкой в течение 2-2,5 часов с последующим охлаждением в печи. После охлаждения проводят цементацию в ТВЧ при 1200-1250 °С в течение 20-30 минут.

Способ поверхностного упрочнения детали из стали поясняется конкретными примерами.

Пример 1. На режущую часть пилы, полотно которой изготовлено из рессорно-пружинной стали, наносят слой обмазки, содержащей легирующие компоненты Cr, Mn, Ti при следующем соотношении, мас. %: Cr – 48, Mn – 48, Ti – 4, затем проводят нагрев плазменной дугой поверхности с нанесенной обмазкой с образованием очагов легирования. После нагрева плазменной дугой проводят термодиффузионное насыщение при температуре 760 оС с выдержкой в течение 2,5 часов с последующим охлаждением в печи. После охлаждения проводят цементацию в ТВЧ при 1250 °С в течение 20 минут.

Пример 2. На режущую часть пилы, полотно которой изготовлено из рессорно-пружинной стали, наносят слой обмазки, содержащей легирующие компоненты Cr, Mn, Ti при следующем соотношении, мас. %: Cr – 48,5, Mn – 48,5, Ti – 3, затем проводят нагрев плазменной дугой поверхности с нанесенной обмазкой с образованием очагов легирования. После нагрева плазменной дугой проводят термодиффузионное насыщение при температуре 800 оС с выдержкой в течение 2,3 часов с последующим охлаждением в печи. После охлаждения проводят цементацию в ТВЧ при 1225 °С в течение 25 минут.

Пример 3. На режущую часть пилы, полотно которой изготовлено из рессорно-пружинной стали, наносят слой обмазки, содержащей легирующие компоненты Cr, Mn, Ti при следующем соотношении, мас. %: Cr – 49, Mn – 49, Ti – 2, затем проводят нагрев плазменной дугой поверхности с нанесенной обмазкой с образованием очагов легирования. После нагрева плазменной дугой проводят термодиффузионное насыщение при температуре 850 оС с выдержкой в течение 2 часов с последующим охлаждением в печи. После охлаждения проводят цементацию в ТВЧ при 1200 °С в течение 30 минут.

Результаты, приведенные в таблице 1 и на рисунке 2 подтверждают, что деталь из стали, полученная по заявляемому способу, обладает повышенной износостойкостью, вследствие повышения микротвердости за счет наличия карбидных фаз (MnC, CrC и TiC) и устойчивостью к ударным и знакопеременным нагрузкам, вследствие повышения ударной вязкости, за счет легирования стали марганцем, чем деталь, полученная по известному способу.[9]

Таблица 1

Сравнительная характеристика физико-механических свойств детали из стали полученной по известному и заявляемому способу

Наименование показателя	Прототип	Пример 1	Пример 2	Пример 3
Микротвердость, ГПа	8-16	22	21	20,5
Ударная вязкость, кДж/м2	140	170	180	185

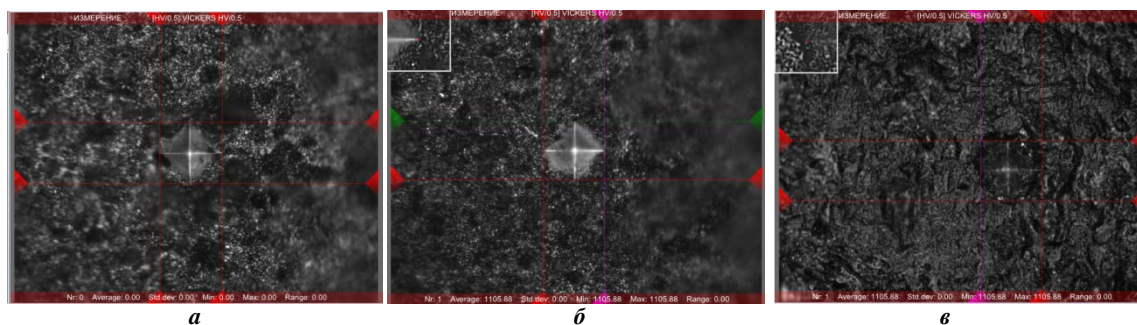


Рис. 2. Исследования микротвердости образцов после плазменного легирования с последующей цементацией: а – по примеру 1; б – по примеру 2; в – по примеру 3

Заключение. Таким образом, заявляемый способ упрочнения детали из стали позволяет получить изделия с повышенными эксплуатационными характеристиками, а именно высокими износостойкостью и устойчивостью к ударным и знакопеременным нагрузкам.[10-12]

В результате проведения исследований был разработан комбинированный способ упрочнения детали, который может быть использован при изготовлении режущего инструмента для ленточнопильных металлорежущих станков, работающих в условиях изнашивания и знакопеременных нагрузок.

Способ поверхностного упрочнения детали из стали включает предварительное поверхностное локальное легирование из обмазки с использованием нагрева, термодиффузионное насыщение поверхности детали легирующими элементами из нанесенной на ее поверхность обмазки путем нагрева, выдержку и охлаждение, при этом локальное легирование из обмазки проводят путем нагрева плазменной дугой в защитной атмосфере аргона, термодиффузионное насыщение ведут при температуре 760-850 °С с выдержкой в течение 2-2,5 часов, после охлаждения дополнительно проводят цементацию детали токами высокой частоты (ТВЧ) при температуре 1200-1250 °С в течение 20-30 минут, а обмазка содержит легирующие компоненты хром, марганец, титан при следующем соотношении, мас. %: Cr – 48-49, Mn – 48-49, Ti – 2-4. Результатом является повышение износостойкости, устойчивости к ударным и знакопеременным нагрузкам.

Анализ данных, представленных в таблице, позволяет сделать вывод, что режущий инструмент с износостойким покрытием, полученным заявляемым способом, характеризуется более высокими физико-механическими характеристиками по сравнению с пластинами, изготовленными известными способами. Таким образом, совокупность заявляемых признаков позволяет достичь технического результата.

Список литературы

1. Литвинов А.Е., Бузько В.У., Балаев Е.Ю., Горячко А.И. Разработка способа нанесения наноструктурированных и износостойких покрытий с высокой адгезией к поверхности режущего инструмента. // IOP Conf. Серия: Материаловедение и инженерия. 2019. №560. 012187.
2. Сюэ Ю.Джей, Чжан Ю.З. Поверхностные покрытия для трибологических и износостойких применений. // Международная термообработка и проектирование поверхностей. 2009. Том 3. № 1/2, С. 17-25.
3. Ротер Б., Германн У., Шульце С. Износостойкие углеродные покрытия, нанесенные без напряжения смещения подложки // Тонкие твердые пленки. 2001. 398-399. С. 187-192.

4. Бледнова Ж.М., Русинов П.О., Балаев Э.Ю. Количественная оценка наследственных закономерностей формирования и трансформации поверхностного слоя многокомпонентных материалов с памятью формы при высокоэнергетическом воздействии // *Материалы сегодня: Труды*, 2017. С. 4652-4657. DOI: 10.1016/j.matpr.2017.04.046.
5. Ласкин Г.П., Кузнецов А.П. Моделирование процесса ионно-плазменного легирования // *Вестник ТумГУ* Том 6, 2010. С. 64-67.
6. 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.
7. Гусейнов М.К., Курбанов М.К., Билалов Б.А., Сафаралиев Г.К. Магнетронное осаждение тонких пленок твердого раствора (SiC)_{1-x}(AlN)_x // *Физика и технология полупроводников*. 2010. Т. 44. С. 841-844.
8. Ротер Б., Германн У., Шульце С. Износостойкие углеродные покрытия, нанесенные без напряжения смещения подложки // *Тонкие твердые пленки*. 2001. 398-399. С. 187-192.
9. Кан М., Менегаццо Н., Мизайкофф Б., Бергхаузер Р., Лакнер Дж.М., Хуфнагель Д., Вальдхаузер В. Свойства пленок DLC и DLC, легированных азотом, нанесенных методом магнетронного распыления на постоянном токе // *Плазменный процесс*. Полим. 2007, 4. С. 200–204.
10. Чжан С., Буй Х.Л., Фу Ю. Твердые покрытия с очень высокой ударной вязкостью, полученные магнетронным напылением // *Технология обработки поверхностей и покрытий*. 2003. Том 167. С. 137-142. DOI: 10.1016/S0257-8972(02)00900-3.
11. Лин К.Р., Вэй Д.Х., Чанг К.К., Ляо У.Х. Оптические свойства алмазоподобных углеродных пленок для просветляющего покрытия методом радиочастотного магнетронного распыления. // *Физическая энциклопедия*. 2011. 18. С. 46-50.
12. Мроз В., Бурдинска С., Прокопюк А., Едынски М., Буднер Б., Корвин-Павловский М.Л. Характеристики углеродных пленок, нанесенных методом магнетронного распыления. // *Acta Physica Polonica A*, 2009. Том 116. С. 120-122.

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

Бузько Владимир Юрьевич, канд. хим. наук, доцент, Россия, Краснодар, Кубанский государственный университет,

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

DEVELOPMENT OF A COMBINED METHOD FOR STRENGTHENING PARTS USED IN THE PRODUCTION OF CUTTING TOOLS FOR BAND SAW MACHINES

A.E. Litvinov, V.Yu. Buzko, A.A. Sizo

The article presents the results of the development of a combined method of hardening the parts used in the manufacture of cutting tools for band-saw machines, working in the conditions of wear and alternating loads.

Key words: high-entropy alloys, mechanical activation, mechanical alloying, coatings, high-velocity oxygen-fuel spraying, structure, phase state.

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

Buzko Vladimir Yuryevich, candidate of chemical sciences, docent, Russia, Krasnodar, Kuban State University,

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