

УДК 621.941

ОСОБЕННОСТИ ДЕМПИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ НИКЕЛИДА ТИТАНА

¹Шевченко А.Д., ²Девин Л.Н., ²Осадчий А.А.

¹Институт металлофизики им. Г. В. Курдюмова НАН Украины
²Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины

В статье рассмотрена возможность применения в конструкции инструмента виброгасящих элементов из композиционного никелида титана для уменьшения колебаний при чистовом точении закаленных сталей. Установлено, что использование виброгасящих элементов в конструкции инструмента повышает стойкость режущего инструмента при чистовом точении закаленных сталей в 1,2–1,3 раза, а при точении закаленных сталей с ударом – в 1,5–2,4 раза. Использование демпфирующих элементов позволяет также снизить шероховатость обработанной поверхности (параметр Ra на 35 – 45% ниже, по сравнению со стандартным инструментом). Установлена эффективность применения виброгасящих элементов из никелида титана для использования в составе демпфера при разработке датчиков акустической эмиссии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: композиты, никелид титана, чистовое точение, виброгасящий элемент.

ОСОБЛИВОСТІ ДЕМПФУЮЧОЇ ЗДАТНОСТІ КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ НА ОСНОВІ НІКЕЛІДА ТИТАНУ

Шевченко А.Д., Девін Л.Н., Осадчий А.А.

В статті розглянута можливість застосування в конструкції інструмента віброгасильних елементів з композиційного нікеліда титану для зменшення коливань при чистовому точінні загартованих сталей. Встановлено, що використання віброгасильних елементів в конструкції інструменту підвищує стійкість різального інструмента при чистовому точінні загартованих сталей в 1,2–1,3 рази, а при точінні загартованих сталей з ударом – в 1,5–2,4 рази. Використання демпфуючих елементів дозволяє також знизити шорсткість обробленої поверхні (параметр Ra на 35 – 45% нижче, в порівнянні зі стандартним інструментом). Встановлено ефективність застосування віброгасильних елементів з нікеліда титану для використання в складі демпфера при розробці датчиків акустичної емісії.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: композити, нікелід титану, чистове точіння, віброгасильний елемент.

FEATURES OF DAMPING CAPACITY OF COMPOSITE MATERIAL FROM TITANIUM NICKELIDE

Shevchenko A.D., Devin L.N., Osadchiy A.A.

The possibility of using the vibration damping elements from the composite titanium nikelide to reduce vibrations during the finish turning of hardened steels is discussed. It was found that the use of vibration damping elements in the design of the instrument increases the resistance of the cutting tool during finish turning of hardened steels in 1.2–1.3 times, and during the turning with a bang – in 1.5–2.4 times. Use of damping elements also reduces the roughness of the treated surface (the parameter Ra is 35 – 45% lower in comparison with the conventional tool). The efficiency of the use of vibration damping elements from of titanium nikelide is also shown as part of the damper in the acoustic emission sensors.

KEY WORDS: composites, titanium nikelide, finish turning, vibration damping elements.

1. Введение. Известно, что высокотемпературная β-фаза никелида титана эквиатомного состава $Ti_{0,50}Ni_{0,50}$ имеет кубическую B2 структуру ОЦК-типа. При $T \leq T_M$ сплав претерпевает структурное превращение B2 → R (R-ромбоэдрический мартенсит, T_M – температура мартенситного превращения). Композиционный материал с высокой демпфирующей способностью на основе никелида титана получен в условиях высокого

давления (аппараты высокого давления типа наковальни Бриджмена с тороидальным углублением) с использованием специальных технологических приёмов [1]. Получен материал с термоупругим мартенситом – материал, который обеспечивает в процессе мартенситного превращения высокий уровень накопления деформации E_H и, следовательно, высокую демпфирующую способность. Величина E_H

определялась из исследований эффекта памяти формы ЭПФ по методике трехточечного изгиба прямоугольных образцов с сосредоточенной нагрузкой. Исследование ЭПФ по этой методике осуществлялось измерением температурных зависимостей стрелы прогиба, образованного деформацией изгиба прямоугольных пластинок демпфирующего материала. ЭПФ относится к числу неупругих свойств материалов, является следствием термоупругих равновесия фаз и возникает при мартенситном преобразовании. Известно также, что мартенситное превращение сопровождается большими сдвиговыми деформациями (эффект пластичности превращения – уменьшение сопротивления сдвиговой деформации), что, в свою очередь, вызывает накопление деформации в процессе реализации мартенситного превращения в поле внешних напряжений, которое осуществляется путем перемещения межфазных границ микродоменов мартенситной фазы с последующей направленной ориентацией доменов под действием внешней нагрузки. При этом такое перемещение реализует релаксацию внешних напряжений и, таким образом, обуславливает характерную для исследуемого материала с термоупругих мартенситом демпфирующую способность. В результате изучения ЭПФ установлено, что композиционный материал испытывает мартенситное превращение в интервале температур 253–323К. При этом ЭПФ композиционного материала на основе никелида титана характеризуется накопленной деформацией $E_H \approx 4,5\%$, обратимой деформацией $\approx 3,0\%$ и остаточной деформацией $\approx 1,5\%$. Величина E_H в демпфирующем материале определялась по формуле:

$$E_H = c/2 \cdot r = c/a^2 + 1,$$

где c – толщина образца, r – радиус изгиба, a – расстояние между кварцевыми опорами, l – стрела прогиба. Для изучения демпфирующей способности исследуемых образцов было разработано измерительное устройство, у которого в качестве базы использовали измерительную стойку от прибора «Звук-107» [2], состоящее из анализатора спектра СК4-59, широкополосного усилителя УЗ-32, согласующего усилителя, аналогово-цифрового преобразователя ADA 1406 и персонального компьютера (рис. 1). Электрические синусоидальные колебания создавали с помощью генератора качающей частоты анализатора спектра СК4-59 после чего усиливали с помощью усилителя УЗ-32. Далее электрические колебания попадали на пьезоэлектрический излучатель стойки «Звук-107», где они преобразовывались в механические. Между излучателем и приемником стойки «Звук-107» устанавливали экспериментальный образец (рис. 2).



Рис. 1. Схема измерительной установки.



Рис. 2. Образец в опорах стойки «Звук-107».

Возбуждаемые в образце колебания воспринимались пьезоэлектрическим приемником стойки, усиливались и подавались на вход анализатора спектра СК4-59, где наблюдали резонансные кривые. Сигнал с анализатора спектра попадал на аналогово-цифровой преобразователь ADA 1406, а затем на персональный компьютер, где и проходила его последующая обработка. Обработку экспериментальных данных проводили в программном пакете PowerGraph 3.3 Professional. В результате получали значения резонансной частоты f_0 и ширины резонансного пика B , определенного на высоте $0,707 \cdot U_{max}$, где U – амплитуда сигнала (рис. 3). В последующем эти данные использовали для расчета демпфирующих свойств материалов.

Разработанная конфигурация системы (её аппаратная и программная реализация) позволила решать все практические задачи по сбору, анализу и представлению в удобной форме результатов при изучении демпфирующих характеристик материалов.

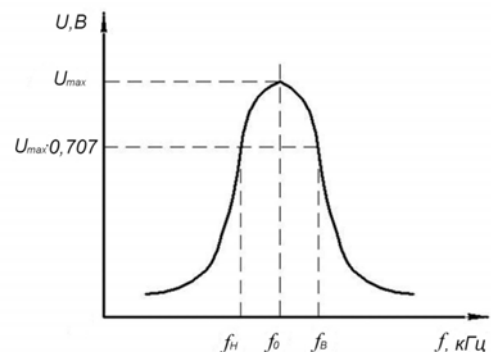


Рис. 3. Резонансный пик.

Демпфирующие характеристики рассчитывали с помощью разработанной методики на основе метода резонансных кривых [3]. В качестве оценки демпфирующих свойств материала вставок использовали значение логарифмического декремента затухания колебаний δ . Поверхности исследуемых образцов были шлифованы ($Ra \leq 0,64$ мкм).

Логарифмический декремент колебаний определяется по формуле [3]:

$$\delta = \frac{\pi}{Q}$$

где Q – добротность, энергетическая характеристика затухания колебаний, которая характеризует скорость потери энергии.

Величина добротности связана с шириной пика резонансной кривой и определяется по формуле:

$$Q = \frac{f_0}{B},$$

где $B = f_B - f_H$.

С помощью разработанной системы и на основании представленной методики были проведены исследования демпфирующих свойств широкого ряда материалов – стали, твердых сплавов, чугунов, керамики систем Ti-Al-C и Ti-Si-C [4], а также никелида титана. Исследования проводили на образцах диаметром 10 мм и толщиной 2 мм (в дальнейшем их применяли в качестве вставок в режущих инструментах для гашения вибраций). Полученные в результате испытаний значения логарифмического декремента затухания колебаний образцов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Демпфирующие характеристики материалов вставок.

Материал образца	Логарифмический декремент колебаний δ , %
Сталь 40X	0,202±0,001
ВК6	0,319±0,019
ВК8	0,296±0,017
T15K6	0,186±0,012
СЧ15	0,667±0,023
Ti-Si-C	1,457±0,027
Ti-Al-C	3,007±0,021
TiNi	5,191±0,031

Установленные высокие демпфирующие характеристики никелида титана по сравнению с конструкционной сталью и твердым сплавом показали целесообразность его применения в конструкции режущего инструмента с целью повышения его вибростойкости.

На основании опыта эксплуатации режущего инструмента из КНБ был разработан и изготовлен инструмент [5], содержащий вставки из материалов с высокими демпфирующими свойствами (рис. 4).

Державка резца 1 оснащенная четырехгранной режущей пластиной из КНБ, которая расположена между верхней 3 и нижней 5 вставками,

изготовленными из демпфирующего материала. Зажим пластинки осуществляется прихватом 2 с зажимным винтом 6.

Для оценки влияния демпфирующих элементов на износостойкость режущего инструмента из КНБ при гладком непрерывном чистовом точении были проведены эксперименты со вставками из никелида титана и из твердого сплава ВК8. Оценка износа инструмента производили по размеру площадки износа на задней поверхности стали ХВГ твердостью 58...62 HRC приведены на рис. 5.

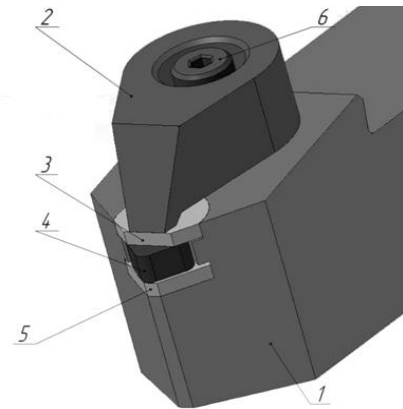


Рис. 4. Резец с элементами из высокодемпфирующих материалов.

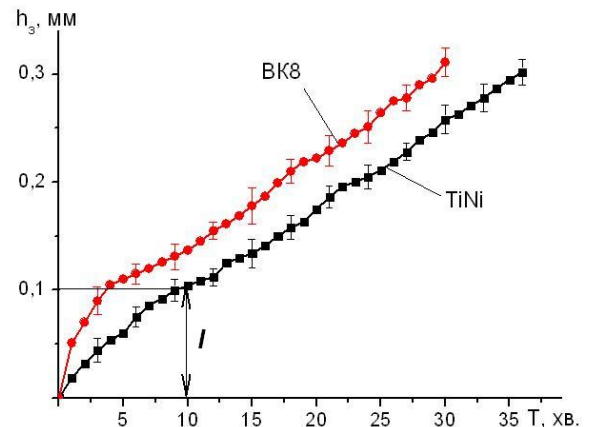


Рис. 5. Кривые износа режущего инструмента из КНБ при точении ХВГ твердостью 58...62 HRC ($v = 2$ м/с; $S = 0,15$ мм/об.; $t = 0,1$ мм).

Характерным при использовании демпфирующих элементов из TiNi является то, что удалось значительно уменьшить интенсивность износа на начальном этапе (до $h_3 = 0,1$ мм). Это связано с уменьшением амплитуды виброускорений (рис. 6) по сравнению со стандартными резцами.

За счет этого удалось повысить в 1,2–1,3 стойкость резца. Снижение интенсивности износа острого резца объясняется тем, что на режущей кромке острого (неизношенного) резца возникают большие напряжения, близкие к пределу прочности КНБ. В связи с этим на режущей кромке инструмента под действием сильных колебаний происходят выкрошивание микрочастиц КНБ, что

приводит к интенсивному механическому износу на этапе приработки резца (рис. 5, участок I).

Были проведены исследования влияния демпфирования резца на параметр шероховатости обработанной поверхности Ra. Результаты представлены на рис. 7.

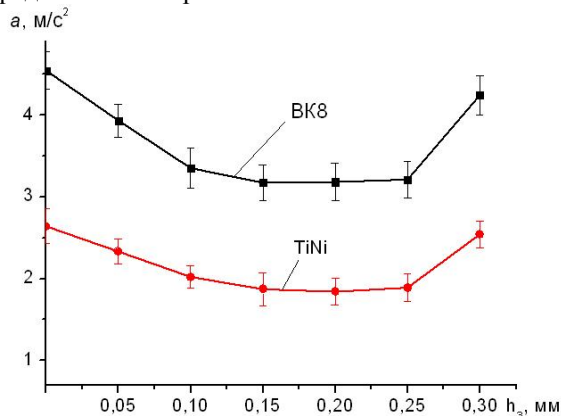


Рис. 6. Влияние износа инструмента из КНБ по задней грани h_3 на величину виброускорений при точении ХВГ 58...62 HRC ($v = 2$ м/с; $S = 0,15$ мм/об.; $t = 0,1$ мм).

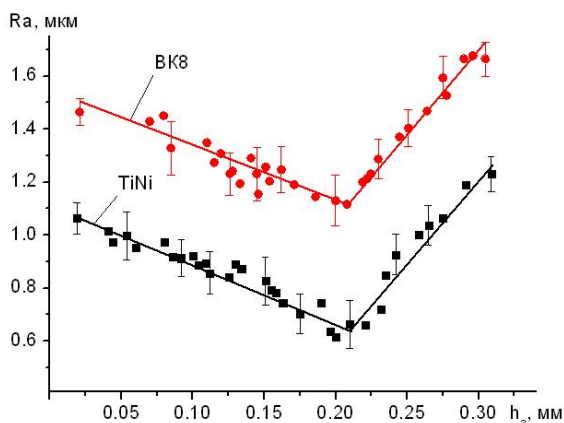


Рис. 7. Влияние демпфирования резца на параметр шероховатости Ra обработанной поверхности при точении ХВГ 58...62 HRC при разной величине износа h_3 ($v = 2$ м/с; $S = 0,15$ мм/об.; $t = 0,1$ мм).

Видно, что демпфирование резца позволило получить шероховатость обработанной поверхности Ra на 35 – 45% лучше по сравнению со стандартным инструментом. Это связано с уменьшением амплитуды колебаний при точении (рис. 6). В период приработки (до износа $h_3 = 0,1$ мм) увеличение износа инструмента по задней поверхности приводило к уменьшению амплитуды колебаний. При износе по задней поверхности $h_3 = 0,1-0,25$ мм (период нормального износа) амплитуда вибраций и, соответственно, шероховатость обработанной поверхности были минимальны. Последующее увеличение износа ($h_3 > 0,25$ мм) привело к росту амплитуды вибраций и, как следствие, росту шероховатости поверхности.

Анализ полученных зависимостей амплитуды колебаний от величины износа по задней поверхности h_3 (рис. 6) показал, что величина

износа по разному влияет на уровень интенсивности колебаний. Можно выделить 3 зоны влияния износа: 1-я до износа $h_3 = 0,10 - 0,15$ мм, где происходит уменьшение амплитуды колебаний. Вторая зона при износе $h_3 = 0,15 - 0,25$ мм, где уровень колебаний мало изменяется. И третья зона после $h_3 \geq 0,25$ мм, где амплитуда колебаний начинает стремительно возрастать.

Такая зависимость объясняется действием двух факторов. С одной стороны, ленточка износа с задним углом $\alpha = 0^\circ$ противостоит углублению инструмента в поверхность резания при вибрациях и увеличивает демпфирование. С другой стороны, увеличение износа приводит к увеличению сил резания и трения и, как следствие, к увеличению амплитуды колебаний. Действие этих двух факторов четко прослеживается на графиках шероховатости, представленных на рис. 7. Так до значений износа $h_3 \approx 0,22$ мм шероховатость уменьшается в связи с положительным влиянием ленточки износа на амплитуду колебаний. После этого значения, влияние сил резания начинает преобладать, что приводит к росту вибраций и шероховатости обработанной поверхности.

Также проведены исследования влияния демпфирования на износостойкость режущего инструмента из КНБ при непрерывном чистовом точении различных сталей: 35ХГСА твердостью 45...52 HRC, ХВГ твердостью 58...62 HRC и У8 твердостью 64...67 HRC. На рис. 8 представлены кривые износа режущего инструмента из КНБ при точении стали 35ХГСА (а) и ХВГ (б).

Использование демпфирующих элементов из TiNi позволило повысить стойкость режущего инструмента из КНБ. При этом стойкость резцов при обработке стали 35ХГСА увеличилась в 2,4 раза, стали ХВГ – в 1,6 раза, У8 – в 1,5 раза по сравнению со стандартным инструментом. Меньшее влияние демпфирующих элементов на стойкость режущего инструмента из КНБ при точении сталей ХВГ и У8 по сравнению с 35ХГСА объясняется тем, что они имели большую твердость и, как следствие, в процессе их обработки температура в зоне резания была выше. Увеличение температуры в зоне резания приводило к нагреву демпфирующих элементов и к уменьшению демпфирующих характеристик вставок из никелида титана, что приводило к снижению его эффективности.

Кроме использования в режущем инструменте, демпфирующие свойства никелида титана позволили изготовить широкополосные датчики акустической эмиссии [6]. Была разработана принципиально новая конструкция датчиков акустической эмиссии за счет научно-обоснованного метода демпфирования тыльной стороны пьезопластины, выбора оптимальной схемы включения датчика и выбора материала демпфера.

В процессе данной работы была разработана новая система градуировки датчиков АЭ, выполнена стыковка системы градуировки с персональным компьютером, разработано

специальное программное обеспечение, позволяющее в полуавтоматическом режиме получать амплитудно-частотную характеристику каждого датчика. Были исследованы амплитудно-частотные характеристики датчиков различных конструкций, выбран оптимальный вариант датчика акустической эмиссии с линейной амплитудно-частотной характеристикой в диапазоне от 200 кГц до 1200 кГц.

Конструкция датчика представлена на рис. 9, а его внешний вид – на рис. 10.

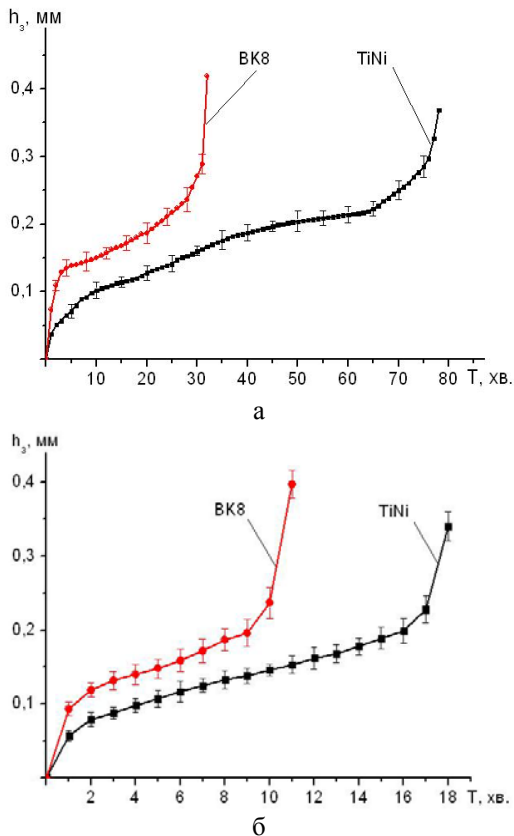


Рис. 8. Кривые износа режущего инструмента из КНБ при точении с ударом стали 35ХГСА (а) и ХВГ (б) ($v = 1,2$ м/с; $S = 0,15$ мм/об.; $t = 0,1$ мм).

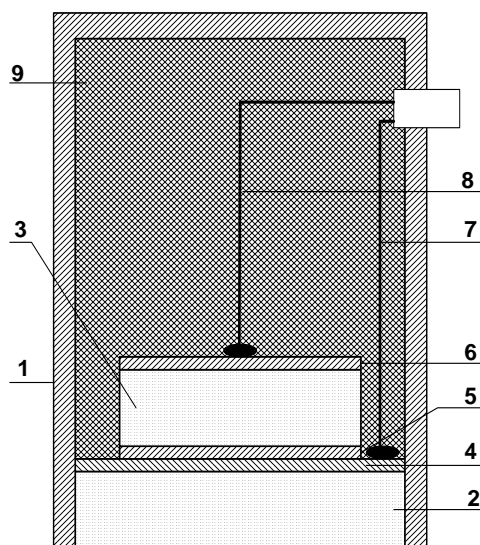


Рис. 9. Конструкция датчика АЭ. Цифрами обозначены: 1 – корпус; 2, 3 – пьезоэлементы; 4 –

нерабочий электрод; 5, 6 – рабочие электроды; 7, 8 – провода; 9 – тело демпфера (композит из карбида вольфрама, нитрида титана и эпоксидной смолы).



Рис. 10. Внешний вид датчика АЭ

В качестве демпфера использован оригинальный материал [7], состоящий из частиц WC и TiNi, скрепленных эпоксидной смолой с отвердителем. Состав демпфера подобран таким образом, что его акустический импеданс равен импедансу пьезокерамики, а демпфирующие свойства максимальны благодаря использованию мартенситного превращения TiNi с поглощением энергии. За счет этого удалось увеличить демпфирующие свойства демпфера в 1,5–2 раза. В совокупности это позволило значительно уменьшить резонансные пики, исключить паразитные отраженные сигналы с тыльной стороны пластины и от корпуса датчика, уменьшить неравномерность амплитудно – частотной характеристики с 23 дБ до 8,5 дБ.

Разработанные датчики были опробованы при изучении процессов трения и изнашивания режущих инструментов на станках с ЧПУ [8].

Таким образом, изучение физико-механических свойств демпфирующего материала свидетельствует о том, что созданный материал можно использовать как эффективный виброгасящий элемент в режущих инструментах и устройствах электронной техники.

Выводы.

1. Использование демпфирующих элементов из TiNi позволяет избежать интенсивного износа на этапе изнашивания по задней грани до $h_3 = 0,1$ мм вследствие уменьшения амплитуды колебаний. Это позволило увеличить стойкость резца при непрерывном чистовом точении закаленных сталей в 1,2–1,3 раза, а при прерывистом точении закаленных сталей 35ХГСА – в 2,4 раза, ХВГ – в 1,6 раза, У8 – в 1,5 раза по сравнению со стандартным инструментом.

2. Использование демпфирующих элементов из TiNi позволило улучшить шероховатость обработанной поверхности (Ra на 35–45% ниже по сравнению с обработкой стандартным инструментом). Установлено, что минимальная шероховатость обработанной поверхности достигается при значениях износа $h_3 = 0,1–0,25$ мм при которых амплитуда колебаний минимальна.

3. Запатентована новая конструкция широкополосных датчиков акустической эмиссии с рабочей полосой частот от 200 кГц до 1200 кГц, в которых использован новый материал демпфера, состоящий из частиц TiNi и WC, скрепленных эпоксидной смолой с отвердителем. Состав демпфера подобран таким образом, что его акустический импеданс равен импедансу пьезокерамики, за счет чего значительно уменьшены резонансные пики, исключены паразитные отраженные сигналы с тыльной стороны пластины и от корпуса датчика.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шевченко А. Д., Шульженко А. А. Новый материал с высокой демпфирующей способностью. *Физика и техника высоких давлений*. – 1991. – т.1, N 3. – С. 26–31.
2. Devin L. M., Bondarenko V. P., Osadchiy O. A., Nimchenko T. V. Application of acoustic methods for the monitoring of products made of hard alloys *Materials Science*. – 2009. – 45 (3). – P. 392–398.
3. Крауткрамер Й., Крауткрамер Г. *Ультразвуковой контроль материалов: Справочник*. Пер. с нем. М.: Металлургия. – 1991. – 752 с.
4. Старостина А. В., Прихна Т. А., Осадчий А. А., Карпец М. В., Ковыляев В. В., Девин Л. Н., Свердун В. Б., Моциль В. Е., Козырев А. В., Кузнецов Р. А. Исследование демпфирующих свойств материалов на основе МАХ фазы Ti_3AlC_2 . *Проблемы современного физического материаловедения*. – 2011. – N 20. – С. 73–79.
5. Девін Л. М., Осадчий О. А. *Різальний інструмент*. Патент на корисну модель N 57353 від 25.02.2012.
6. Девін Л. М., Найденко А. Г., Німченко Т. В. *П'єзоелектричний перетворювач*. Патент на винахід N86818 від 25.05.09.
7. Девін Л. М., Недосека А. Я., Стахнів М. Є., Яременко М. А., Німченко Т. В. *Матеріал для демпфера ультразвукового перетворювача сигналів*. Патент на корисну модель N26259, бюл. N14, 10.09.2007 р.
8. Новиков Н. В., Девин Л. Н. Широкополосные датчики акустической эмиссии для диагностики состояния режущих инструментов. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. – 2008. – N 4. – С. 81–85.