

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный  
технический университет»

На правах рукописи

Бездень Ольга Васильевна

**Совершенствование метода и установки маятникового  
скрайбирования инструментальных материалов за счет  
исследования и обоснования функциональных параметров  
процесса**

Кафедра «Технология машиностроения»  
Направление 15.04.05 - «Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств»  
Направленность (профиль) – «Технология машиностроения»

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ**  
на соискание академической степени магистра

Коротченко  
Лариса Никитовна

**Проверено**

21.09.2016 Зачтено Библиотека

2016

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре  
государственный технический университет»

Научный руководитель доктор технических наук, доцент, заслуженный изобретатель РФ, профессор кафедры «Технология машиностроения» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета  
МОКРИЦКИЙ Борис Яковлевич

Консультант заместитель начальника инструментального цеха авиационного предприятия ПУСТОВАЛОВ  
Дмитрий Александрович

Рецензент кандидат технических наук, главный инженер  
ООО «ТехКомплект» ДОВГАЛЬ Олег Викторович

Защита состоится « 30 » июня 2016 года в 09 часов 00 мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 15.04.05 - «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» в Комсомольском-на-Амуре государственном техническом университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд.124/2.

Автореферат разослан 27 июня 2016 г.

Секретарь ГЭК

А. Г. Серебренникова

### **Актуальность темы исследования**

Тема актуальна и приобретает различную направленность. В рамках диссертации маятниковое скрайбирование рассматривается не с позиций материаловедения, а с позиций технологического обеспечения машиностроительных производств ресурсосберегающим наукоёмким и высокотехнологичным инструментарием для экспресс - оценки и прогнозирования эксплуатационных свойств металлорежущего инструмента.

Проблема создания методологии экспресс - оценки и прогнозирования носит широкий научный характер. Из этой проблемы автором в диссертационной работе взята лишь её узкая часть, а именно предпринята попытка установить возможность оптимизации условий маятникового скрайбирования по энергии взаимодействия индентора с исследуемым материалом для сокращения затрат и повышения точности оценки свойств. И даже в этой узкой части пока исследовано влияние лишь нескольких самых простых параметров, а именно массы маятника, его радиуса и угла отклонения.

В известных ранее работах так задача не ставилась, таких результатов не получено, эти параметры при исследованиях выбраны были без должного обоснования, на интуиции.

Анализ источников информации позволяет сделать следующие **выводы**:

- 1 Тема диссертации является актуальной;
- 2 В рамках темы существует несколько нераскрытых проблем и задач. Решению части из них посвящена настоящая диссертация.

**Целью магистерской диссертации** является совершенствование экспрессного метода маятникового скрайбирования путем научного обоснования и оптимизации конструктивных параметров установки для реализации маятникового скрайбирования.

#### **Задачи диссертации:**

- 1 Обоснование и оптимизация конструктивных параметров установки, то есть массы, радиуса маятника и высоты начального положения индентора;
- 2 Установление взаимосвязи между измеряемыми параметрами следа маятникового скрайбирования и конструктивными параметрами (массой, радиуса маятника и угла отклонения маятника) установки для маятникового скрайбирования;
- 3 При наличии этой взаимосвязи установление возможности оценки физико-механических свойств исследуемых материалов;
- 4 Оценить (через физико-механические свойства) возможности прогнозирования эксплуатационных свойств изделий, выполненных из этих материалов;
- 5 Оценить возможность сравнительной оценки нескольких материалов по их эксплуатационным свойствам путём выстраивания материалов в рандометрический ряд по контролируемому параметру следа маятникового скрайбирования.

## Методы исследования

Научные исследования, приведенные в диссертационной работе, основывались на применении методологии скрайбирования, заложенной (профессором Григоровичем В. К., Верхотуровым А. Д., Семашко Н. Н., Мокрицким Б. Я. и др.) на методе маятникового скрайбирования и развитой по настоящее время в области материаловедения и машиностроения.

**Научная новизна** работы состоит в том, что установлено:

1 Из трёх (масса, радиус маятника и угол отклонения маятника) варьируемых параметров оптимизации условий маятникового скрайбирования доминантными являются те, которые входят в состав параметра «скорость движения маятника». Доминантными потому, что в классической формуле единичной энергии (или единичной работы)  $m \times V^2$  именно  $V$  в квадратичной зависимости, а масса в линейной зависимости. Величина  $V$  зависит от радиуса маятника и угла его отвода от крайнего нижнего положения. Эти два параметра из трёх наиболее значительно влияют на импульс энергии, с которой маятник взаимодействует с материалом образца. Их необходимо оптимизировать в первую очередь. При выборе их значений рациональными для каждого из типов материалов остальное оптимизирование достаточно будет осуществлять за счёт варьирования третьим параметром, т.е. массой маятника.

2 Модернизация установки для скрайбирования по параметру «длина маятника» не требуется в связи с тем, что применённая длина  $L = 1,35 - 2,15$  мм рациональна и позволяет реализовать энергию деформации при скрайбировании образца, выполненного из любого (из числа основных традиционных) инструментального материала, в частности, из углеродистых инструментальных сталей, быстрорежущих инструментальных сталей, инструментальных твёрдых сплавов (и режущей керамики, что в диссертации не отражено, но исследовано). При этой длине маятника принятый диапазон варьирования массой маятника и углом его отвода от крайнего нижнего положения вполне позволяет реализовать маятниковое скрайбирование образцов, выполненных из указанных материалов, с формированием следа скрайбирования, пригодного для измерения его геометрических параметров.

3 При одинаковой глубине внедрения индентора в материал образца нет необходимости в широком диапазоне варьирования углом отвода индентора, достаточно варьирования массой маятника. Так, например, при глубине внедрения индентора не более 0,1 мм угол отвода маятника может составлять 45 - 60 градусов, при этих условиях формируется полноценный маятниковый след в любом из перечисленных материалов только за счёт изменения массы маятника от 0,1 до 0,3 кг.

4 Для экспрессной качественной оценки эксплуатационных свойств сравниваемых инструментальных материалов одной группы могут быть использованы разные измеряемые параметры следа скрайбирования, в том числе сразу несколько из них. В простейших случаях достаточно измерения одного из них, а именно максимальной ширины следа. Тогда ранжирование материалов может быть осуществлено по принципу «чем меньше максималь-

ная ширина следа скрайбирования, тем выше эксплуатационные свойства инструментального материала, тем вероятнее от него ожидать более высокую работоспособность инструмента при равных условиях нагружения, особенно при циклических знакопеременных условиях.

5 Методом маятникового скрайбирования рационально исследовать:

а) наименее прочные инструментальные материалы - при радиусе маятника 1,35 мм, угле отвода маятника 45 градусов и при минимальной массе маятника 0,1 кг;

б) наиболее прочные инструментальные твёрдые сплавы - при этом же радиусе маятника, угле отвода маятника 60 градусов и при максимальной массе маятника 0,3 кг;

в) промежуточные по прочности инструментальные материалы - при этом же радиусе маятника, угле отвода маятника 45 - 60 градусов и при средней массе маятника 0,2 кг.

6 Данная тенденция перепроверена дополнительными (не приведёнными в диссертации) исследованиями. Так, например, установлен «порог чувствительности» метода маятникового скрайбирования к изменению структуры и состава материалов, входящих в одну группу. Оказалось, что параметры следа скрайбирования отличаются при равных условиях нагружения для твёрдого сплава группы ВК8, а именно: если размер зёрен его твёрдой фазы обычный (марка ВК6), мелкий (ВК6М), особо мелкий (ВК6ОМ), крупнозернистый (ВК6КС) или легирован хромом (ВК6ХОМ).

7 Предложенные в диссертации, запатентованные технические решения не оказывают радикального влияния на эффективность маятникового скрайбирования, но расширяют его технологические возможности вплоть до обеспечения возможности идентификации инструментальных материалов по их группам и внутри групп.

#### **Практическая значимость работы:**

- установлена возможность оптимизации условий маятникового скрайбирования по энергии взаимодействия индентора с исследуемым материалом для сокращения затрат и повышения точности оценки свойств;

- предложен усовершенствованный метод маятникового скрайбирования, за счет применения нагревательного элемента;

- приведены результаты модернизации устройства для маятникового скрайбирования, что вылилось в создание 3D модели предлагаемого скрайбомера;

- сформулированы рекомендации по применению вариантов исполнения разрабатываемой установки.

#### **Личный вклад автора** заключается в:

- совершенствовании методологии маятникового скрайбирования, заключающейся в научном обосновании конструктивных параметров установки маятникового скрайбирования применительно к разным группам исследуемых материалов;

- установлении взаимосвязи между измеряемыми параметрами следа маятникового скрайбирования и конструктивными параметрами (массой, ра-

диуса маятника и угла отклонения маятника) установки для маятникового скрайбирования;

- установлении возможности оценки физико-механических свойств исследуемых материалов;

- установлении возможности прогнозирования эксплуатационных свойств изделий по результатам оценки физико-механических свойств;

- выявлении возможности сравнительной оценки нескольких материалов по их эксплуатационным свойствам путём выстраивания материалов в рандомметрический ряд по контролируемым параметрам следа маятникового скрайбирования.

#### **Решения, выносимые на защиту:**

- техническое решение (защищено патентом РФ № 146023) по модернизации установки маятникового скрайбирования за счет маятника, несущего на себе индентор, снабженный нагревательным элементом;

- чертеж 3D модели установки маятникового скрайбирования с нагревательным элементом и 3D модель установки маятникового скрайбирования со средством документирования параметров следа скрайбирования выполненный в программе TFlex;

- комплекс контроля материалов, защищенный патентом РФ № 2564055;

- способ сравнительной оценки свойств материалов по длине между лункой и основной частью следа индентора при маятниковом скрайбировании, защищенный патентом РФ № 2539725;

- способ сравнительной оценки свойств материалов по отношению длины лунки отскока к ее ширине в следе индентора при маятниковом скрайбировании, защищенный патентом РФ № 2543683;

- рекомендации по применению вариантов исполнения, разрабатываемой установки.

#### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, шести глав, общих выводов, списка использованных источников, включающего 62 наименований и приложений. Работа изложена на 123 страницах, содержит 10 таблиц и 42 рисунка.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**В введении** содержится обоснование актуальности выбранной темы.

**В первой главе** рассмотрено состояние вопроса, сформулирована цель и поставлены задачи для её достижения.

**Во второй главе** рассмотрены методологические основы метода скрайбирования, в частности описаны особенности методологий:

а) Григоровича В. К. б) Фадеева В. С., Паладина Н. М., Мокрицкого Б. Я. в) Мокрицкого Б. Я., Семашко Н. А.; Мокрицкой Е. Б. г) Пустовалова Д. А., Мокрицкого Б. Я.

В данной главе результатом является демонстрация приемственности теоретических положений обычного скрайбирования, как метода измерения твёрдости материалов, к маятниковому скрайбированию, как методу прогнозирования эксплуатационных свойств металлорежущего инструмента.

В главе 3 изложен методологический подход к созданию модели скрайбомера, удовлетворяющего цели диссертации.

В основу используемой методологии модернизации скрайбомера положена формула расчета величины энергии  $E$  движения маятника как суммы двух (кинетической и потенциальной) энергий  $E = g \cdot l \cdot m \cdot (1 - \cos \varphi)$ , где  $g$  – коэффициент свободного падения;  $l$  – длина маятника, м;  $m$  – масса маятника, кг;  $\varphi$  – угол отклонения от начального положения, градус.

Этот подход показывает, что оптимизацию конструктивных параметров установки можно производить, в первую очередь, путем оптимизации трех основных параметров, а именно длины маятника, его массы и угла отклонения.

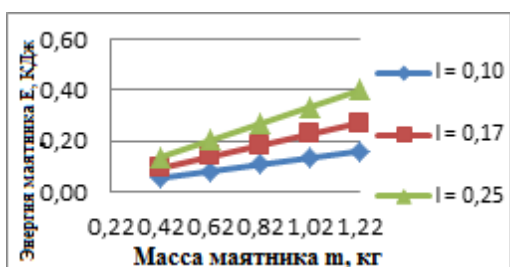


Рисунок 1 – Зависимость энергии  $E$  маятника от массы  $m$  маятника

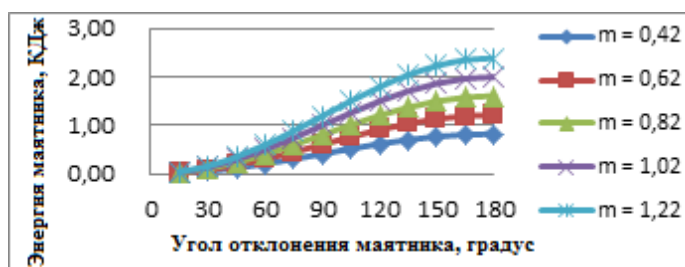


Рисунок 2 – Зависимость энергии  $E$  маятника от угла отклонения  $\varphi$  маятника

Для удобства моделирования разработано программное обеспечение, произведены расчёты искомых параметров.

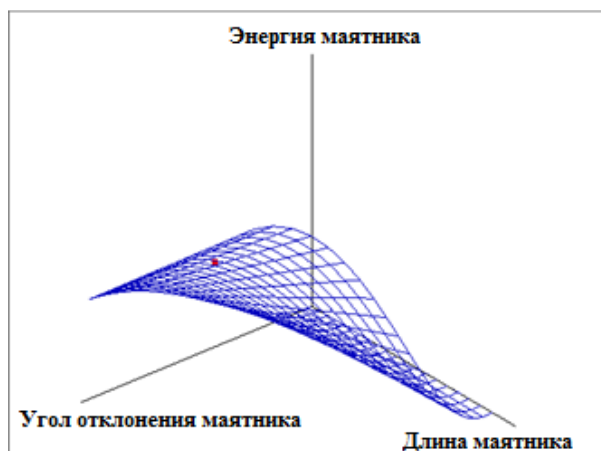
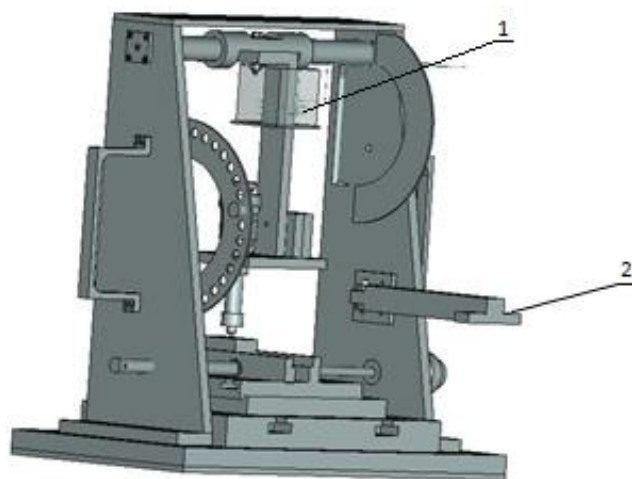


Рисунок 3 – График зависимости энергии  $E$  от угла отклонения маятника  $\varphi$  и его длины  $L$

В главе 4 приведены результаты модернизации устройства для маятникового скрайбирования, что вылилось в создание 3D модели предлагаемого скрайбомера.



1 - устройство нагрева маятника; 2 - устройство документирования  
Рисунок 3 – 3D модель установки, оснащенной устройством нагрева маятника и устройством документирования

Совершенствованная установка маятникового скрайбирования с элементом нагрева необходима для того, чтобы сократить время на исследование необходимого рабочего инструмента. Также использование этой установки позволяет исследовать свойства нужного инструмента, что позволяет сократить время работы станка и как следствие уменьшения себестоимости продукции (изделий). Усовершенствование установки маятникового скрайбирования позволяет регулировать длину маятника на величины, меньшие микрометра. Имеется возможность скрайбировать разные материалы с разной величиной энергии. Есть возможность варьирования энергии за счет изменения либо массы, либо угла отклонения, либо длины. Это позволит воссоздать разные режимы резания и обосновать возможность нагружения твердых (твердосплавных и керамических инструментальных материалов) и сверхтвердых материалов.

**В главе 5** показаны результаты экспериментального исследования установки маятникового скрайбирования (с применением образцов различных материалов), а именно проведены эксперименты на базовой модели существующей установки, при обоснованных мною оптимальных параметрах процесса маятникового скрайбирования инструментальных материалов и не только.

**В главе 6** приведены материалы прикладного характера, которые получились попутно с модернизацией устройства. Здесь кратко описаны запатентованные с участием коллег технические решения, позволяющие расширить технологические возможности метода маятникового скрайбирования.

#### **Заключение, основные результаты и выводы**

В результате выполненного комплекса научно – исследовательских теоретических и экспериментальных работ предложены научно обоснованные технологические и технические решения, направленные на совершенствование экспрессного метода маятникового скрайбирования путем научно-



го обоснования и оптимизации конструктивных параметров (массы, длины маятника и угла отклонения) установки для реализации маятникового скрайбирования. Предложенные решения способствуют разрешению одной из важнейших проблем народного хозяйства, а именно снижению доли инструментальных затрат в себестоимости изделий машиностроительного профиля за счёт создания методологии экспресс-оценочного прогнозирования эксплуатационных свойств металлорежущего инструмента под заданные условия эксплуатации ещё на стадии создания инструментального материала. В результате выполнения магистерской диссертации получено новое решение задачи экспресс-оценки эксплуатационных свойств инструментальных материалов, которое наиболее актуальна при разработке новых инструментальных материалов, в первую очередь – твёрдосплавных с покрытиями, а именно оптимизированы параметры маятникового скрайбирования, что позволяет сократить затраты времени на настройку устройства для скрайбирования до 4 раз и минимизировать потребность в эксплуатационных испытаниях инструмента.

Указанная проблема относится непосредственно к целям и задачам подготовки магистров, охарактеризованных в ФГОС ВО 15.04.05 (Конструкторское технологическое обеспечение машиностроительных производств), а также ФГОС ВПО – 3 151.900.68 (Конструкторско - технологическое обеспечение машиностроительных производств), а также к научной специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико – технической обработки.

Научным результатом работы является следующее:

Решение задач диссертации осуществлено на основе созданного нового подхода к назначению параметров маятникового скрайбирования инструментальных материалов, заключающегося в том, что для каждой группы инструментальных материалов выявлены оптимальные величины энергии взаимодействия индентора и образца, позволяющие произвести замеры следа скрайбирования и по ним – прогнозировать эксплуатационные свойства металлорежущего инструмента.

В целом достигнутый в диссертации научно-технический результат позволят на качественном и количественном уровне выстроить сравнимые инструментальные материалы в рандометрический ряд, исключить потребность в натурных сравнительных эксплуатационных испытаниях инструмента, что даёт экономию до 80000 рублей на каждом образце.

В работе получены следующие выводы:

1 Разработана методология маятникового скрайбирования, заключающаяся в научном обосновании конструктивных параметров установки маятникового скрайбирования применительно к разным группам исследуемых материалов;

2 Установлена взаимосвязь между измеряемыми параметрами следа маятникового скрайбирования и конструктивными параметрами (массой, радиусом маятника и углом отклонения маятника) установки для маятникового скрайбирования;

3 Установлена возможность оценки физико-механических свойств исследуемых материалов;

4 Установлена возможность прогнозирования эксплуатационных свойств изделий по результатам оценки физико-механических свойств;

5 Установлена возможность сравнительной оценки нескольких материалов по их эксплуатационным свойствам путём выстраивания материалов в рандомметрический ряд по контролируемым параметрам следа маятникового скрайбирования.

Автором при содействии руководителя Б. Я. Мокрицкого, консультанта Д. А. Пустовалова, а также А. А. Просоловича, А. Г. Серебрянниковой, В. В. Алтуховой, Д. Н. Бездень, Е. Г. Кравченко, А. С. Верещагиной создана программа «Визуальный анализ»; получена зависимость конструктивных параметров в программе Excel; получены фотографии следов скрайбирования сделанных на микроскопе МИКРО 200; разработаны рекомендации; получены фотографии и результаты параметров следов скрайбирования на профиллографе; выполнен чертеж 3D модели установки маятникового скрайбирования с нагревательным элементом и 3D модель установки маятникового скрайбирования со средством документирования параметров следа скрайбирования; произведено исследование модели и испытания опытного образца.

#### **Публикации**

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1 Пат. 146023 Российская Федерация МПК G 01 N 3/46. Устройство скрайбирования / Мокрицкий Б. Я., Бездень О. В. ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Комсомольский – на – Амуре государственный технический университет». - № 2014120743/28; заявл. 22.05.2014, опубл. 27.09.2014, Бюл. № 27.

2 Бездень О. В., Мокрицкий Б. Я., Пустовалов Д. А. Отдельные результаты анализа фотографий следов маятникового скрайбирования / Проблемы и достижения в инновационных материалах и технологиях машиностроения : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Комсомольск-на-Амуре, 12-16 мая 2015 г. / ред.кол. : О.Ю. Еренков (отв. ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2015. –320 с. (стр. 35-37) ISBN 978-5-7765-1127-1.

3. Бездень О. В., Мокрицкий Б. Я. , Пустовалов Д. А. Модернизация устройства маятникового скрайбирования путём оптимизации величины энергии разрушения испытываемого материала / Проблемы и достижения в инновационных материалах и технологиях машиностроения : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Комсомольск-на-Амуре, 12-16 мая 2015 г. / ред.кол. : О. Ю. Еренков (отв. ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2015. –320 с. (стр. 33-34). ISBN 978-5-7765-1127-1.

4 Пат. 2539725 Российская Федерация, МПК G 01 N 3/46. Способ сравнительной оценки свойств материалов по длине между лункой и основной частью следа индентора при маятниковом скрайбировании / Мокрицкий Б. Я., Пустовалов Д. А., Панова Е. А., Бездень О. В., Саблин П. А. ; заявитель и па-

тентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет. - № 2013147569/28; заявл. 24.10.2013 ; опублик. 27.01.2015, Бюл. № 3.

5 Пат. 2564055 Российская Федерация МПК G 01 N 3/46. Комплекс контроля материалов / Мокрицкий Б. Я., Пустовалов Д. А., Саблин П. А., Бездень О. В., Мешков А. С.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Комсомольский – на – Амуре государственный технический университет». - № 2013152720/28; заявл. 27.12.2013, опублик. 29.07.2015, Бюл. № 27.

6 Пат. 2543683 Российская Федерация МПК G 01 N 3/46. Способ сравнительной оценки свойств материалов по отношению длины лунки отскока к ее ширине в следе индентора при маятниковом скрайбировании / Мокрицкий Б. Я., Пустовалов Д. А., Саблин П. А., Бездень О. В. ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Комсомольский – на – Амуре государственный технический университет». - № 2013147970/28; заявл. 28.10.2013, опублик. 10.03.2015, Бюл. № 7.

7 Бездень, О. В. Оптимизация параметров прибора маятникового скрайбирования / О. В. Бездень, Б. Я. Мокрицкий // Ученые записки Комсомольского–на–Амуре государственного технического университета. – 2014.

Работа поддержана Грантом НИР 9.251.2014/К (код проекта 251) Госрегр. № 114121550057 Разработка нового металлорежущего инструмента для сложных условий его эксплуатации и разработка метода экспрессной оценки качества инструмента.