

УДК 621.941.025

С. Я. Хлудов, д-р техн. наук, проф., **О. В. Чечуга**, канд. техн. наук., доц.,
Е. В. Маркова, канд. техн. наук, доц.,
ФГБОУ ВО Тульский государственный университет, ТулГУ
Тел. +7 872254648; E-mail: marta06@yandex.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СМЕННЫХ МНОГОГРАННЫХ ПЛАСТИН ПРОГРЕССИВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В статье рассматриваются вопросы проектирования сменных многогранных пластин прогрессивных конструкций. Описывается экспресс-методика определения положения стружкозавивающих элементов на передней поверхности, обеспечивающих устойчивое дробление стружки. Предлагаются многофункциональные конструкции режущих пластин с дискретной режущей кромкой. Задача осуществляется путем использования сменных многогранных пластин со специальной формой передней поверхности. В результате использования экспресс-методики устанавливаются параметры отдельных участков скорректированной формы передней поверхности сменных многогранных пластин, которая гарантирует дробление стружки с требуемыми формой и параметрами ее элементов.

Ключевые слова: резание металлов, сменная многогранная пластина (СМП), передняя поверхность, режущая кромка, дробление стружки

S. Y. Khludov, O. V. Chechuga, E. V. Markova

ENGINEERING OF THROW-AWAY INDEXABLE INSERTS OF PROGRESSIVE DESIGN

This article deals with the engineering of throw-away indexable inserts of progressive design. It describes the rapid method of determining the position of chips curling elements on the front surface, providing steady chip control. Flexible design of cutting inserts with discrete cutting edge is offered. The task is accomplished by the use of replaceable polyhedral plates with a special form of the front surface. The use of rapid methods set parameters of individual sections of the corrected shape of the front surface of the indexable inserts, which ensures chip control with the required shape and parameters of its elements.

Keywords: cutting metal, indexable insert (II), the front surface, cutting edge, chip control.

Введение

Возможности современного инструментального производства снимают технологические ограничения формирования формы режущей кромки сменных многогранных пластин (СМП), которые существовали ранее. Это позволяет проектировать поверхности режущих пластин принципиально новых конструкций, в том числе решая вопросы с выбором новых форм, как передней, так и задней поверхностей и, соответственно, режущей кромки.

При организации процесса механической обработки материалов, которые обладают высокими эксплуатационными характеристиками, а при точении дают сливную стружку, в условиях современного машиностроения в автоматизированном производстве повышается актуальность задачи обеспечения дробления стружки.

Решение такой задачи осуществляется путем использования СМП со специальной формой передней поверхности. В общем случае, передняя поверхность современных СМП состоит из сопряженных между собой вогнутых, плоских и выпуклых участков. Каждый из этих участков может быть непрерывным, т.е. располагаться по периметру режущей кромки, или локальным - отдельно стоящим в строго определенном месте. Форма, размеры и месторасположение участков передней поверхности СМП, определяются функциями, которые они выполняют в процессе срезания припуска. Каждый из таких участков может одновременно выполнять одну или несколько функций в процессе резания или менять их при изменении условий обработки [1-8].

Основное содержание и результаты работы

В Тульском государственном университете разработана экспресс - методика проектирования передней поверхности СМП, в основе которой положен принцип коррекции существующей формы передней поверхности для условий конкретного производства с учетом особенностей.

Известно, что для чистовых режимов обработки изменение «установочного» главного угла в плане φ для СМП стандартного исполнения при выполнении условия $t \leq R$, где t – глубина резания, а R – радиус при вершине режущей пластины, не приводит к изменению параметров поперечного сечения срезаемого слоя. При этом изменяется положение стружкозавивающих элементов относительно направления схода стружки. Соответственно, изменяются условия контакта стружки со стружкозавивающими элементами, что является следствием изменения параметров витка и траектории ее движения и условий разрушения витка. На рис. 1 приведены образцы стружки, полученной при чистовом точении заготовки из стали 45X1 резцом, оснащенным пластиной CMNG120408–HF. Анализ образцов стружки показал, что варьирование значением угла φ можно использовать как технологический прием, позволяющий управлять параметрами витка стружки и траекторией ее движения, что расширяет потенциально возможный диапазон режимов резания с дроблением стружки. Такой технологический прием положен в основу экспресс - методики проектирования передней поверхности СМП.

Для удобства описания положения поверхностей стружкозавивающего элемента или его отдельных участков предложена система отсчета. В качестве системы отсчета использованы три точки: Q - центр тяжести фигуры, которую очерчивает поперечное сечение срезаемого слоя; Θ - точка пересечения векторов скоростей при различных значениях глубины резания («базовая») (рис. 2); O – центр дуги окружности формообразующего участка («опорная»).

Векторы скорости, проведенные из точки Q_i , которая совпадает с центром тяжести фигуры, очерченной поперечным сечением срезаемого слоя, пересекаются в точке Θ , принадлежащей передней поверхности, которая может рассматриваться, как «базовая» для оценки места расположения локального выступа. Изменение, как глубины резания t в пределах радиуса R при вершине СМП, так и подачи s , не вызывает изменения координат точки Θ .

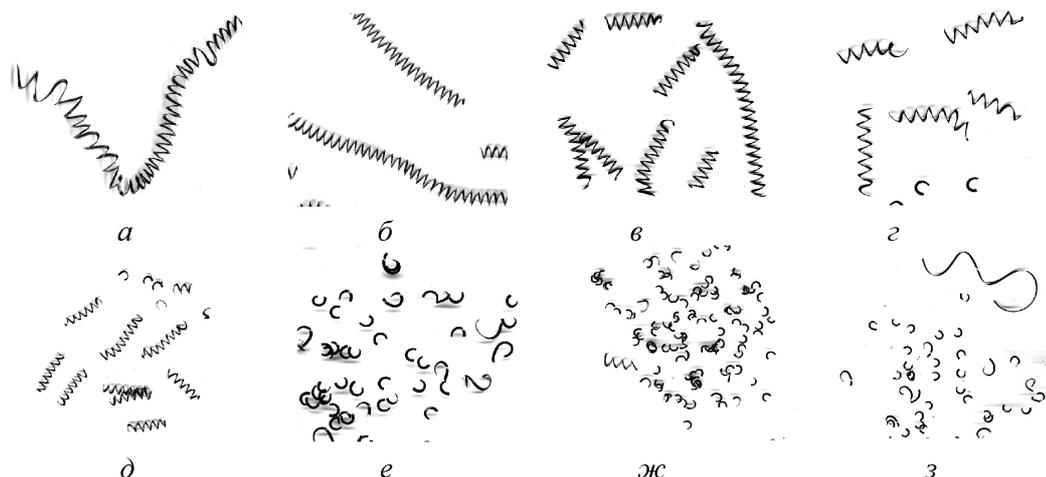


Рисунок 1. Образцы стружки, полученные при точении стали 45X1 СМП с индексом формы передней поверхности HF с $v = 204$ м/мин, $s = 0,15$ мм/об, $t = 0,5$ мм при φ : а - 90° ; б - 85° ; в - 80° ; г - 75° ; д - 70° ; е - 65° ; ж - 60° ; з - 55°

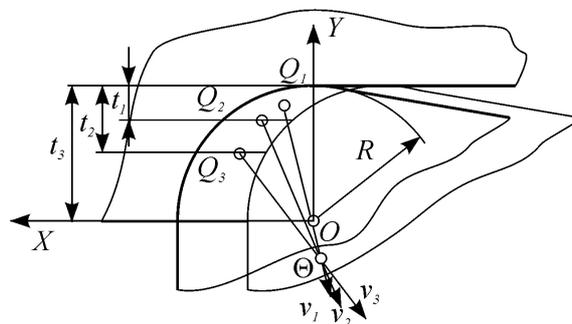


Рисунок 2. Расчетная схема для определения точки пересечения векторов скоростей при изменении глубины резания

Координаты X_Q и Y_Q точки Q центра тяжести, определяются по зависимостям:

$$X_Q = \frac{I_1}{S}; \dots \dots \dots (1)$$

$$Y_Q = \frac{I_2}{S}, \quad (2)$$

где S – площадь поперечного сечения срезаемого слоя:

$$S = \frac{s}{2} \sqrt{R^2 - \frac{s^2}{4}} + R^2 \arcsin \frac{s}{2R} - (R-t) \cdot s,$$

где s – подача; t – глубина резания; R – радиус при вершине.

Параметры I_1 и I_2 вычисляется по формулам:

$$I_1 = \frac{s}{2} \left[-(R-t)(2X_A + s) + \frac{s}{2} \sqrt{R^2 - \frac{s^2}{4}} + X_A \sqrt{R^2 - X_A^2} + R^2 \left(\arcsin \frac{s}{2R} + \arcsin \frac{X_A}{R} \right) \right]; \quad (3)$$

$$I_2 = \frac{s}{2} \left[\left(X_A + \frac{s}{2} \right)^2 - \frac{s}{3} (s^2 + 3X_A) \right], \quad (4)$$

где $X_A = \sqrt{2tR - t^2}$. Координаты X_Θ и Y_Θ точки Θ рассчитывается по зависимостям:

$$X_\theta = \frac{k_1 + k_2}{k_3 + k_4};$$

$$Y_\theta = \frac{k_5}{k_6}.$$

В работе [1- 3] установлены зависимости для определения коэффициентов k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 и k_6 .

Экспресс-методика включает четыре этапа. Первый этап связан с измерением передней поверхности и построением 3D модели конструкции СМП. В качестве исходной конструкции передней поверхности принимается существующая конструкция СМП. Второй этап включает расчет параметров поперечного сечения срезаемого слоя: действительной максимальной толщины и действительной ширины. По зависимостям (1-4) рассчитываются координаты точки Q , совпадающей с центром тяжести фигуры,

которую очерчивает поперечное сечение срезаемого слоя. Определяется положение «базовой» точки Θ . По сканированному изображению исходной режущей пластины проводится анализ топографии передней поверхности СМП и выбирается «опорная» точка O на передней поверхности (рис. 3). Третий этап включает экспериментальное определение положения стружкозавивающего элемента, обеспечивающего благоприятную форму стружки, при этом используется технологический прием описанный ранее.

На четвертом этапе осуществляется коррекция формы передней поверхности с учетом результатов третьего этапа. Проводится перерасчет результатов измерения профиля передней поверхности, полученных на первом этапе, с учетом системы отсчета и строится 3D модель СМП.

В результате использования экспресс-методики устанавливаются параметры отдельных участков скорректированной формы передней поверхности СМП, которая гарантирует дробление стружки с требуемыми формой и параметрами ее элементов.

Форма задней поверхности обусловлена методами ее получения. Возможность варьирование ее формы до настоящего времени не получило пристального внимания как в теоретических, так и в экспериментальных работах.

Используя принцип условного разделения активной части режущей кромки по ее функциональному назначению были разработаны конструкции СМП, получившие название «Wire» или режущие пластины с «видоизмененной» режущей кромкой [2]. В этом случае, режущая кромка у вершины СМП выполнялась в форме лекальной кривой, состоящей из трех сопряженных дуг окружностей с разными радиусами (рис. 4).

Однако изменение формы переходного (режущего) участка, с целью обеспечения наиболее благоприятных условий срезания припуска, в ряде случаев, входит в противоречие с рекомендациями по выбору рациональной формы формообразующего участка. Эти противоречия можно исключить, если формировать эти участки режущей кромки независимо друг от друга.

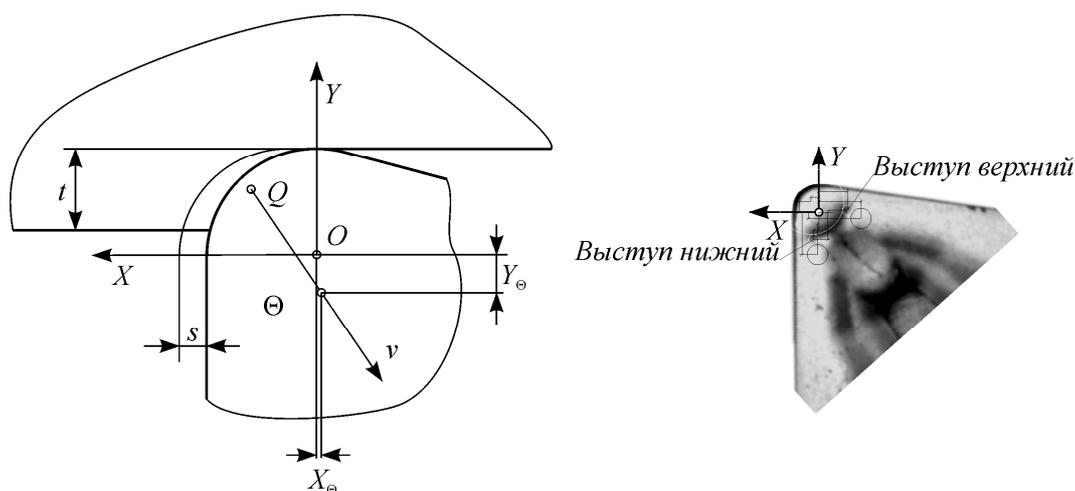


Рисунок 3. Схема для определения начального положения «опорной» точки

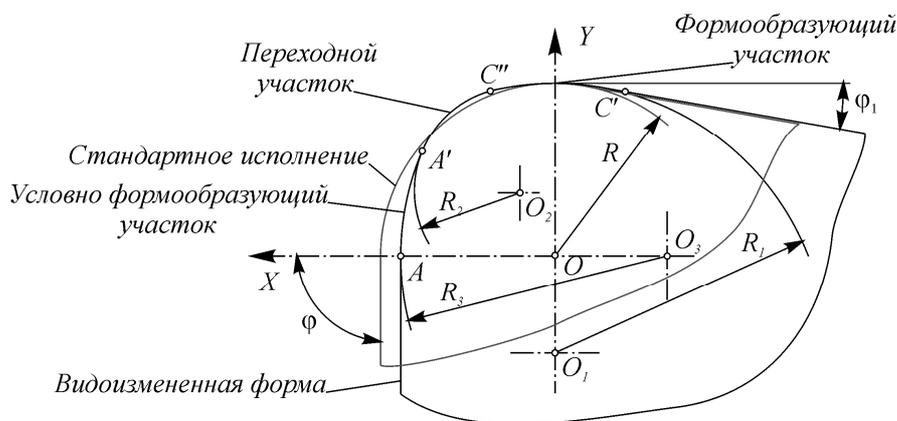


Рисунок 4. Расчетная схема для определения радиусов формообразующих и переходного участка по первому варианту

В Тульском государственном университете разработана методика проектирования специальных СМП с рациональной формой дискретной режущей кромки с заданным функциональным назначением каждого из ее участков (рис. 5).

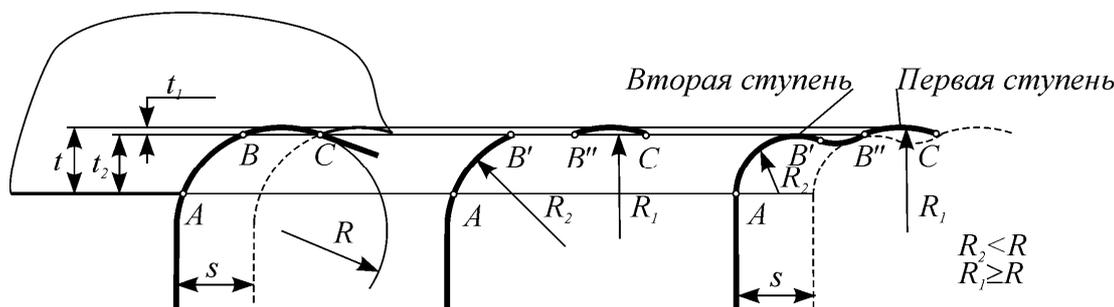


Рисунок 5. Разделение припуска на два участка

В этом случае, активная часть режущей кромки разделялась на режущий участок AB' , не участвующий в формировании обработанной поверхности, и формообразующий $B''C$, который выполнял функцию формообразования обработанной поверхности. Вершина пластины исполнялась в форме двух ступеней. Припуск t разделялся на t_1 , срезаемый первой ступенью, и t_2 , удаляемый с поверхности заготовки второй ступенью.

В зависимости от принятой приоритетности тех или иных задач для конкретного производства, выбирались варианты исполнения активной части режущей кромки на каждой из ступеней и устанавливались численные значения параметров t_1 и t_2 .

Выбор значений t_1 и t_2 , устанавливает область использования данной конструкции СМП. Для режущей пластины, получившей название СМП с двумя вершинами, приведенной на рис. 6, глубина резания t_1 была принята равной высоте гребешков микронеровностей, сформированных второй ступенью

$$t_1 = \frac{s^2}{8R_1},$$

где s – подача, мм/об; R_1 – радиус первой ступени.

В этом случае СМП имела две симметричные ступени, расположенные относительно друг друга на определенном расстоянии $L = 1,5s$.

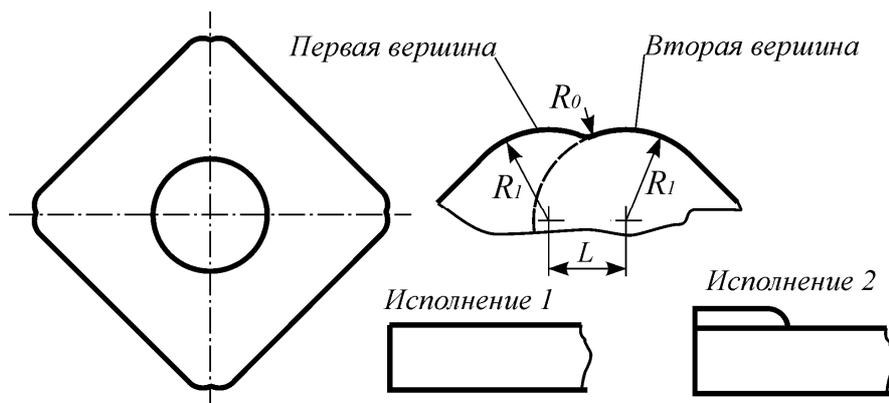


Рисунок 6. СМП с двумя вершинами

Первая вершина срезает припуск и формирует обработанную поверхность. Вторая деформирует неровности, сформированные первой вершиной. Таким образом, в конструкции СМП с двумя вершинами совмещаются операции чистового точения и выглаживания.

Если глубина резания t_1 принималась равной глубине наклепанного слоя ($\approx 0,02\text{мм}$), то в этом случае совмещались операции чистового точения и финишной обработки (рис. 7).

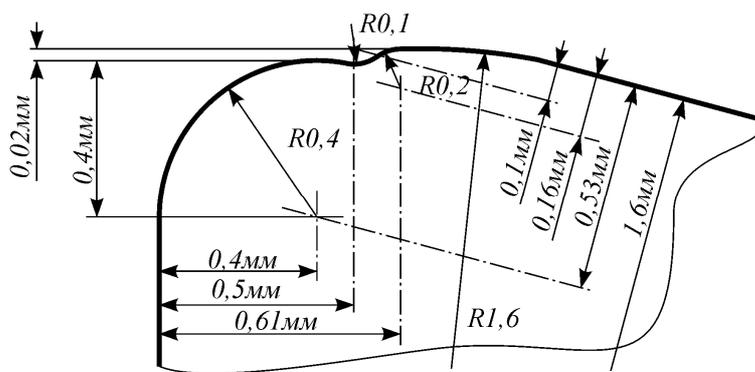


Рисунок 7. Параметры режущей кромки СМП для чистовой и финишной обработки

СМП выполнялась с двумя ступенями по лекальной кривой, состоящей из четырех сопряженных дуг окружностей разных радиусов. Первая ступень имела зачистную режущую кромку, а вторая - конструктивные параметры чистовой пластины стандартного исполнения. СМП такой конструкции позволяет формировать обработанную поверхность с низкой шероховатостью и высокой точностью. Так как ступень с зачистной режущей кромкой работает в условиях предварительно нагруженной технологической системы, финишная обработка осуществляется в наиболее благоприятных условиях. В качестве недостатка конструкции с двумя ступенями и зачистной режущей кромкой следует отметить, что такие СМП можно использовать только для чистового точения на проход.

Если глубина резания t_1 принималась равной 0,5мм, что соответствует чистовому точению, припуск разделялся на получистовую и чистовую обработки. Одна из вершин выполнялась как у СМП для получистовой обработки, а другая имела форму режущей кромки, характерную для чистовых СМП с радиусом R_1 формообразующего участка (рис. 8):

$$R_1 = \frac{R_2^2}{32R_z}, \quad (5)$$

где R_2 – радиус режущей кромки второй ступени; R_z – высота микронеровностей по чертежу детали.

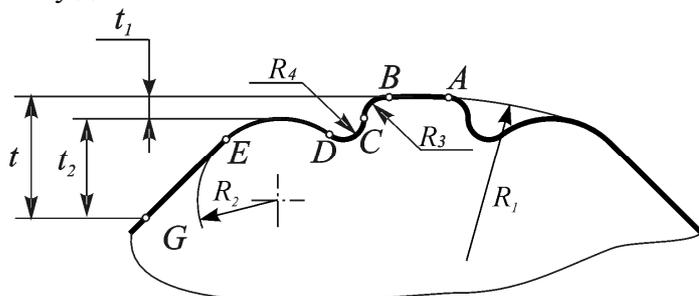


Рисунок 8. Режущая пластина с двумя ступенями для получистовой и чистовой обработки

В процессе точения вторая ступень вершины режущей пластины работала в условиях получистового точения, формируя поверхность под последующую чистовую обработку, осуществляемую первой ступенью. За один проход в условиях получистовой обработки осуществлялась окончательная обработка поверхности детали. Разделение припуска на получистовую и чистовую обработку позволяло исключить из технологического процесса операцию чистового точения и обеспечить требуемую шероховатость обработанной поверхности при работе с подачей, характерной для получистовых операций.

Если к инструменту предъявлялись повышенные требования по обеспечению виброустойчивости процесса точения, например при растачивании глубоких отверстий в тонкостенных деталях, режущая кромка и на первой и на второй ступенях СМП выполнялась по лекальной кривой, состоящей из пяти сопряженных дуг окружностей разных радиусов, для уменьшения соотношения радиальной и осевой составляющих силы резания.

Проверка работоспособности СМП с дискретной режущей кромкой проводилась при точении сталей групп P и M. При использовании экспериментальной СМП (рис. 9) параметр Ra шероховатости обработанной поверхности деталей из стали 30ХГСА в области подач $s > 0,2$ мм/об был 3 раза меньше параметра шероховатости обработанной поверхности, полученного при точении СМП со стандартным исполнением режущей кромки.

При измерении температуры резания методом естественно образующейся термомпары, было установлено, что в процессе точения СМП стандартного исполнения температура на 10...15% выше, чем при использовании СМП с двумя вершинами.

Экспериментально установлено, что разделение тепловых потоков и уменьшение глубины резания, обеспечило повышение стойкости на первой ступени в 2,5 раза по сравнению с СМП стандартного исполнения. При точении пластиной с двумя ступенями нарастание износа на задней поверхности первой ступени происходило равномерно вдоль всей активной части режущей кромки. При точении стандартной пластиной наблюдались проточки по краям активной части режущей кромки, которые отсутствовали на первой ступени специальной СМП.

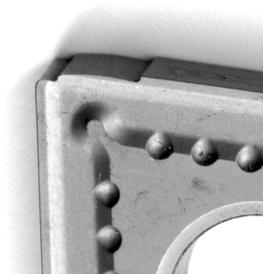


Рисунок 9. Экспериментальная режущая пластина с дискретной режущей кромкой

Заключение.

Предложенная экспресс-методика проектирования передней поверхности СМП со стандартным и не стандартным исполнением режущей кромки, позволяет обеспечить для конкретного обрабатываемого материала гарантированное дробление стружки на элементы с заданными формой и размерами. Дискретное исполнение режущей кромки обеспечивает создание многофункциональных конструкции СМП, разделяющих припуск для:

- получистовой и чистовой обработки, которые позволяют повысить производительность за счет минимизации количества операций;
- чистовой и финишной обработки, которые обеспечивают снижение шероховатости;
- обработки с повышенными требованиями к виброустойчивости процесса точения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борискин, О. И. Исследование работоспособности режущих пластин с дискретным исполнением режущей кромки / О. И. Борискин, С. Я. Хлудов, С. В. Зябрев // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 2: в 2 ч. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. – Ч. 1 – С. 130-135.
2. Борискин, О. И. Режущие пластины с дискретным исполнением режущей кромки / О. И. Борискин, С. Я. Хлудов, С. В. Зябрев // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 2: в 2 ч. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. – Ч. 1 – С. 146-149.
3. Борискин, О. И. Исследование условий процесса дробления стружки при точении / О. И. Борискин, С. Я. Хлудов, С. В. Зябрев, Н. А. Волчкова // Актуальные научные вопросы: реальность и перспективы: сборник научных трудов по материалам Международной заочной научно-практической конференции 26 декабря 2011 г.; в 7 частях. Часть 5; М-во образования и науки Рос. Федерации. – Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес, наука, общество», 2012. – С. 29-31.
4. Kudo, H. Some new slip-line solutions for two-dimensional steady-state machining Text. / H. Kudo // International Journal of mechanical science, — 1965.—Vol. 7. Хо 1. - P. 45-57.
5. Zhang, H. The theoretical calculation of naturally curling radius of chip Text. / H. Zhang, P. Lin, R; Hu // Int.J. Mach. Tools and Manuf: – 1989. - vol 29, № 3. – P. 323-332.
6. Hahn, R. S. Some Observations on Chip Curl In Metal-Cutting Process Under Orthogonal Cutting Conditions Text. / R. S. Hahn // Trans. ASME. – 1953. – Vol.75. —P. 581-590.
7. Ernst, H. Chip Formation Friction and High Quality Machined Surfaces Text. / H. Ernst, M. E. Merchant // Trans. ASME. – 1941. – Vol. 29. – 299 p.

Поступила в редколлегию 13.03.18 г.