

УДК 621.9.02

Стойкостные модели метчиков с внутренним размещением стружки

А.Е. Древаль, А.В. Литвиненко

Появление конструкций метчиков с существенными отличиями конструктивных элементов от стандартных метчиков обуславливает необходимость проведения исследований по установлению влияния факторов, сопровождающих процесс резания, на стойкость.

Для установления модели стойкости метчиков с внутренним размещением стружки (МВРС) исследовано влияние на стойкость следующих основных факторов: скорость резания, диаметр, шаг резьбы, угол режущей части метчика, количество переточек и критерий отказа инструмента.

Проведенные исследования позволили установить частные и общие зависимости, стойкости МВРС от основных конструктивных параметров и скорости резания при нарезании резьбы в глухих и сквозных отверстиях в заготовках из углеродистых конструкционных сталей. При обработке глухих отверстий без СОЖ МВРС обеспечивает повышение стойкости на 25...35%, а при обработке сквозных отверстий при использовании СОЖ — на 40...50%.

Ключевые слова: режущий инструмент, метчик, износ, критерий, стойкость.

Tool Life Model of Taps With Internal Placement of Chips (TIPC)

A.E. Dreval, A.V. Litvinenko

The Appearance of a tap design with significant differences from the standard one requires researching the effect of the factors that accompany the process of cutting, on tool life. To establish a tool life model of taps with internal placement of chips (TIPC) the effect on tool life of the following key factors: cutting speed, diameter, thread pitch, cutting angle of the tap, number of regrinding and tool failure criterion was investigated. The research allowed establishing the dependence of TIPC life of basic design parameters and cutting speed when cutting threads in blind and through holes in the workpiece of carbon structural steels. When tapping of blind holes without coolant cutting oil TIPC enhances the tool life for 25...35%, and when tapping of through-holes and using coolant cutting oil — for 40...50%.

Keywords: cutting tool, tap, tool wear, criteria, tool life.

Важным показателем работоспособности метчиков является стойкость. Исследования стойкости метчиков, выполненные ранее, относятся в основном к стандартным конструкциям метчиков. Метчики с внутренним размещением стружки (МВРС) имеют существенные отличия конструктивных элементов от стандартных метчи-



ДРЕВАЛЬ
Алексей Евгеньевич
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

DREVAL
Alexey Evgenievich
(Moscow, Russian Federation,
Bauman Moscow State
Technical University)



ЛИТВИНЕНКО
Анатолий Васильевич
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

LITVINENKO
Anatoly Vasilievich
(Moscow, Russian Federation,
Bauman Moscow State
Technical University)

ков (рис. 1). Рабочая часть l МВРС, в отличие от метчиков стандартной конструкции, трубчатая с полостью для размещения стружки и подвода СОЖ, зубья режущей части l_1 являются частью кругового кольца. В тоже время геометрические параметры режущей части МВРС (углы передний γ , задний α , угол режущей части ϕ , стружечной канавки ω) рассчитывают и назначают так же, как для стандартных. Существенное отличие в конструкции обоих типов метчиков предопределяет необходимость оценки стойкости новой конструкции инструмента [1].

Точность стойкостных моделей зависит от правильности оценки степени влияния того или иного параметра инструмента на стойкость, а также количества параметров, вводимых в модель. По аналогии со стандартными метчиками в лабораторных условиях исследовано влияние на стойкость МВРС скорости резания V , диаметра d и шага p , угла режущей части ϕ , числа переточек n . Экспериментальные исследования проведены в соответствии с методическими указаниями, представленными в работе [3]. При выполнении экспериментов для получения сопоставимых результатов метчики использовались до достижения одинаковой величины износа задней поверхности $h_3 = 1$ мм, которая соответствует допустимой величине износа МВРС размером М12, установленной в работе [4].

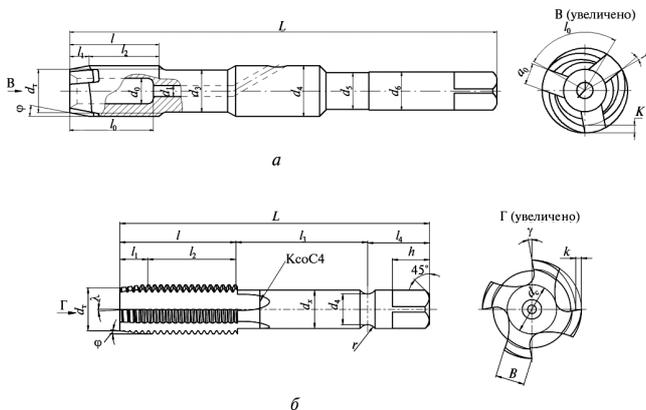


Рис. 1. Конструктивные элементы и геометрические параметры метчиков:

a — метчик с внутренним размещением стружки;
б — стандартный метчик

Проведены сравнительные стойкостные испытания стандартных метчиков и МВРС размерами М12 в диапазоне наиболее употребляемых скоростей резания $V = 4,5 \dots 14$ м/мин при обработке глухих отверстий глубиной $l = 3d$, в стали 45 НВ = 195.

Результаты эксперимента по выявлению влияния скорости резания на стойкость T и наработку (путь резания L) представлены на рис. 2. Установлено, что стойкость и наработка МВРС превышают эти показатели стандартных метчиков во всем исследованном диапазоне скорости резания, при этом зависимости носят экстремальный характер. Максимальная стойкость и наработка метчиков наблюдается в диапазоне скоростей резания 9...10 м/мин, поэтому все исследования влияния на стойкость других параметров инструментов выполнялись в этом диапазоне скоростей.

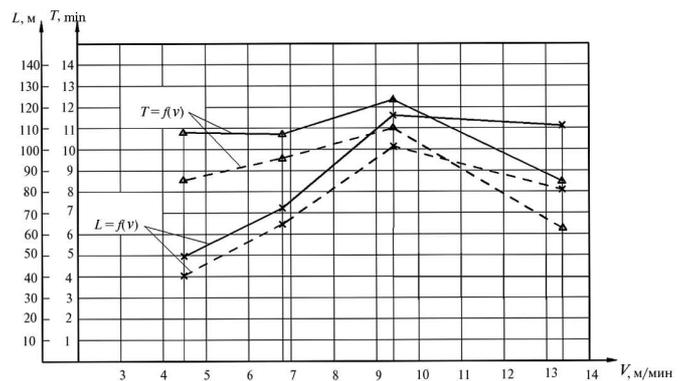


Рис. 2. Влияние скорости резания на стойкость и наработку метчиков М12 без СОЖ при $\phi = 12^\circ$; $z = 3$; $h_d = 1$ мм:
 — — МВРС; - - - - стандартные метчики

В резании металлов при аппроксимации результатов однофакторных экспериментальных зависимостей широко используют уравнения вида $y = ax^b$, что приемлемо для монотонных зависимостей. В работах [5, 6] показано, что для экстремальных зависимостей следует использовать более сложные степенные функции и полиномы. В связи с этим в предлагаемой работе на экстремальных зависимостях выделены участки относительно монотонного изменения функции и выполнена аппроксимация по участкам степенной функций. Одновременно

выполнена их аппроксимация степенными уравнениями и полиномами вида $y = \sum_{i=0}^n A_i x^i$.

На зависимости, представленной на рис. 2, можно выделить два участка $T = f(V)$ в следующих диапазонах скоростей: 1-й участок — для скоростей резания 4,52...9,42 м/мин; 2-й — 9,42...13,38 м/мин. В указанных диапазонах получены частные зависимости вида $T = aV^b$. Для всего диапазона скоростей выполнена аппроксимация с использованием полиномов. Показатели степеней a и b , значения коэффициентов полиномов A и корреляции R и относительная ошибка $\Delta\epsilon$ частных зависимостей при резбонарезании в конструкционных углеродистых сталях для глухих отверстий приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения коэффициентов аппроксимации в зависимости стойкости от скорости резания

Диапазон скорости, м/мин	По уравнению $T = aV^b$					
	a	b	R	$\Delta\epsilon$		
4,52—9,42	8,24	0,17	0,768	0,445		
9,42—13,38	123,55	-0,99	-0,835	0,906		
	По уравнению $T = A_0 + A_1V + A_2V^2$					
	A_0	A_1	A_2	R	ϵ	
4,52—13,38	-6,47	4,46	-0,25	-0,946	0,907	
	По уравнению $T = A_0 + A_1v + A_2v^2 + A_3v^3$					
	A_0	A_1	A_2	A_3	R	ϵ
4,52—13,38	28,64	-7,85	1,07	-0,04	1	0

Аппроксимация экспериментальных данных, представленных в табл. 1, показывает, что более тесная корреляционная связь и меньшее значение относительной ошибки наблюдается при использовании полиномов.

Исследования влияния угла режущей части ϕ на стойкость при постоянном шаге резьбы и скорости $V = 9,42$ м/мин также показали, что зависимости стойкости от угла режущего конуса имеют экстремальный характер, при значениях $\phi = 12...15^\circ$ наблюдается максимум стойкости (рис. 3).

С увеличением угла ϕ растет толщина срезаемого слоя a_z , приходящаяся на каждый режущий профиль метчика, следовательно, на-

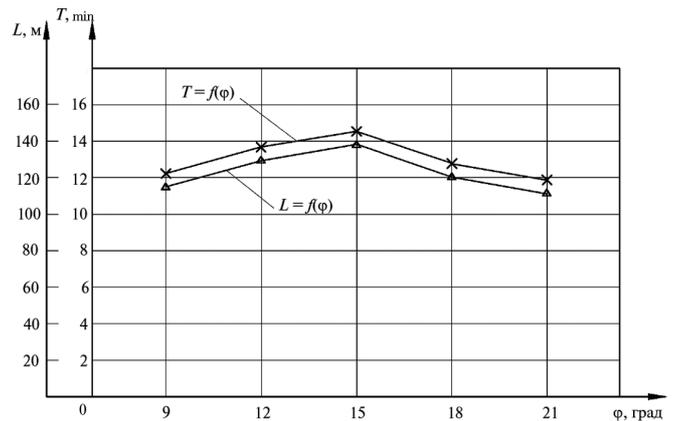


Рис. 3. Влияния угла режущей части на стойкость метчика М12х1,5 без СОЖ при $V = 9,42$ м/мин

грузка возрастает. Одновременно уменьшается длина режущей части l_1 , т. е. в зоне резания меньше количество режущих профилей и снижается вклад в тепловую и силовую нагрузку вспомогательных кромок. При определенном соотношении этих факторов проявляется преобладающее влияние одного над другим. Так, для указанных выше условий обработки, начиная с угла $\phi = 15^\circ$, преобладает влияние роста толщины срезаемого слоя на снижение стойкости. Аналогичные результаты представлены в работе [4] для стандартных метчиков.

Аппроксимация полученных экспериментальных данных для двух интервалов значений угла ϕ с использованием степенных зависимостей имеет вид $T = 24,09(\sin \phi)^{0,3}$ при $\phi < 15^\circ$; $T = a(\sin \phi)^{-0,68}$ при $\phi > 15^\circ$. Аппроксимация, выполненная на основе полиномов, показывает, что лучшие результаты достигаются при использовании полинома 3-й степени.

Экспериментальные исследования по установлению влияния диаметра на стойкость проведены с использованием метчиков диаметрами от М12 до М20 при постоянных условиях резбонарезания: $p = 1,5$ мм; $\phi = 12^\circ$; $V = 9,05...11,3$ м/мин; без СОЖ (рис. 4).

При работе со скоростью резания $V \approx 10$ м/мин увеличение диаметра метчиков приводит к постепенному повышению их стойкости. Это объясняется улучшением условий теплоотвода из зоны

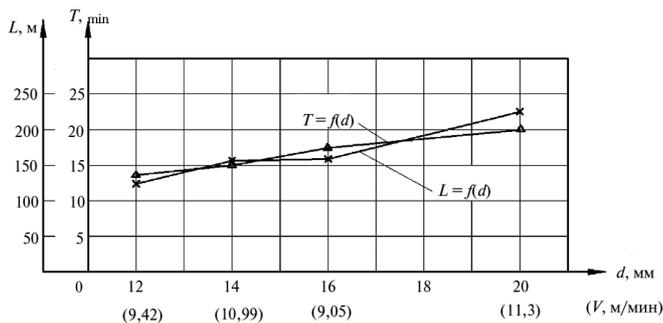


Рис. 4. Влияние диаметра резбонарезания на стойкость метчика без СОЖ

резания в тело инструмента и улучшением размещения стружки во внутреннем отверстии.

Данные аппроксимации экспериментального исследования представлены в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость значения коэффициента аппроксимации стойкости от диаметра резбонарезания при $V = 4,52...13,28$ м/мин

По уравнению $T = ad^b$					
a	b	R	$\Delta\epsilon$		
1,73	0,82	0,976	0,463		
По уравнению $T = A_0 + A_1d + A_2d^2 + A_3d^3$					
A_0	A_1	A_2	A_3	R	ϵ
214,5	-41,16	2,73	-0,06	1	0

Экспериментальные исследования по установлению влияния шага на стойкость проводились с использованием метчиков М12 с шагами $p = 0,75...1,75$ мм; со скоростью $V = 9,42$ м/мин $\phi = 12^\circ$ и без использования СОЖ (рис. 5).

На рисунке 5 видно, что увеличение шага метчиков приводит к постепенному уменьшению их стойкости. Увеличение шага p при постоянном значении угла режущей части ϕ приводит к увеличению толщины срезаемого слоя

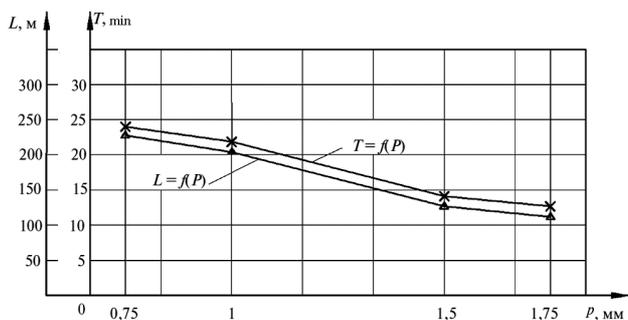


Рис. 5. Влияние шага на стойкость метчиков без СОЖ

$a_z = \frac{p}{z} \sin \phi$, что обуславливает повышение сил и температуры резания вследствие чего возрастает интенсивность изнашивания.

Аппроксимация полученных данных представлена в табл. 3.

Таблица 3

Зависимость значения коэффициентов аппроксимации стойкости от шага метчиков при $V = 4,52...13,38$ м/мин

По уравнению $T = ap^b$					
a	b	R	$\Delta\epsilon$		
19,62	-0,83	-0,988	0,724		
По уравнению $T = A_0 + A_1P + A_2P^2 + A_3P^3$					
A_0	A_1	A_2	A_3	R	$\Delta\epsilon$
9,6	56,2	-62,93	18,13	1	0

Экспериментальные исследования по установлению влияния переточек на стойкость проводились с использованием МВРС М12х1,5 при скорости $V = 9,42$ м/мин и трех переточках ($K = 3$).

Лабораторные испытания показали, что стойкость метчиков снижается по мере их переточек. Уменьшение стойкости от переточки к переточке может изменяться в 1,2 и более раз. Это объясняется постепенным накоплением неустранимых дефектов на рабочих поверхностях инструмента при резании, к которым относятся: изменение форм режущих профилей и шероховатости опорных поверхностей, накопление усталостных напряжений, микронадежности на контактирующих поверхностях. Существенное влияние на возникновение неустранимых дефектов оказывает вид отверстия. При нарезании резьбы в глухих отверстиях условия стружкоотвода затруднены: при реверсе под рабочие поверхности метчика попадают частицы стружки, иногда крупные ее фрагменты, которые приводят к микроцарапинам и сколам лезвий инструмента. По результатам испытаний получена частная зависимость стойкости K от числа переточек — $T = 14,56 \cdot K^{-0,49}$.

На основе экспериментально полученных частных моделей стойкости от скорости резания V (в двух интервалах), диаметра d , шага

резьбы p , угла режущего конуса φ и количества переточек K в предположении независимости степени влияния одного фактора на степень влияния другого получены обобщенные стойкостные модели с учетом интервалов монотонного влияния фактора на стойкость вида:

$$T = C_T V^{b_1} d^{b_2} p^{b_3} (\sin \varphi)^{b_4} K^{b_5}.$$

Обобщенные модели стойкости представлены в табл. 4.

Таблица 4

Обобщенные модели стойкости

Угол режущей части φ , град	Диапазон скоростей резания 4,5...9,5 м/мин	Диапазон скоростей резания 9,5...13,4 м/мин
9–15	$T = 3 \frac{V^{0,17} d^{0,82} (\sin \varphi)^{0,37}}{p^{0,83} K^{0,49}}$	$T = 40,5 \frac{d^{0,82} (\sin \varphi)^{0,37}}{V^{0,99} p^{0,83} K^{0,49}}$
15–21	$T = 0,76 \frac{V^{0,17} d^{0,82}}{p^{0,83} (\sin \varphi)^{0,68} K^{0,49}}$	$T = \frac{10,21 d^{0,82}}{V^{0,99} p^{0,83} (\sin \varphi)^{0,68} K^{0,49}}$

Поскольку экспериментальные исследования по установлению частных стойкостных зависимостей проводились без применения СОЖ, были проведены дополнительные исследования с использованием СОЖ, подвод которой осуществлялся через внутреннее отверстие. В качестве СОЖ использовался 5%-ный водный раствор эмульсола. Опыты показали, что при использовании СОЖ стойкость метчиков возрастает в среднем в 1,5 раза. Установлено, что влияние СОЖ можно учесть в общей стойкостной зависимости поправочным коэффициентом ($K_{СОЖ} = 1,5$) [4].

Полученные уравнения можно использовать для расчета наработки машинных МВРС при обработке конструкционных углеродистых сталей. Сравнение экспериментальных и расчетных данных показывает, что погрешность расчета составляет не более 5%.

На рисунке 6 представлены две зависимости стойкости МВРС от скорости резания. Верхняя кривая получена в результате лабораторных испытаний метчиков на стойкость до поломки, нижняя — до достижения износа задней поверхности значения $h_3 = 1$ мм, установленного по критериальному уравнению [4]. Заштрихованная зона определяет запас по стойкости

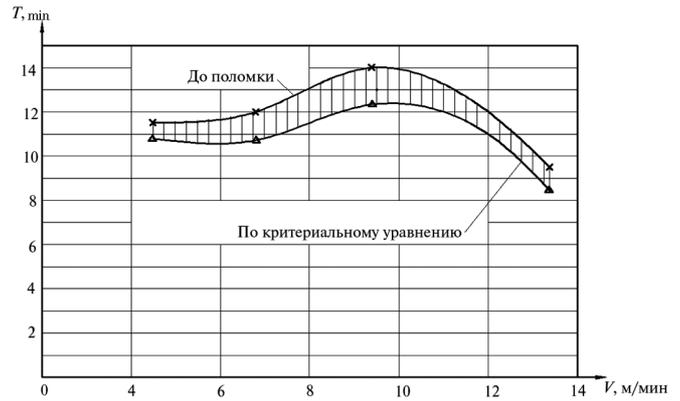


Рис. 6. Влияние выбора критерия отказа метчика М12 без СОЖ при $z = 3$; $\varphi = 120^\circ$

метчика в зависимости от его прочности до поломки.

Результаты, приведенные на рис. 6, показывают, что при работе до достижения принятого критерия износа метчик имеет запас прочности по стойкости в пределах 8...14%. Это подтверждает правильность назначения критерия допустимого износа.

Все представленные экспериментальные исследования выполнены до критерия равного износа $h = 1$ мм, численно совпадающего с величиной допустимого износа для МВРС диаметром М12. В связи с этим целесообразно для инструментов других размеров выполнить пробное испытание для установления поправки в стойкостную модель (см. табл. 4) с учетом допустимой величины износа по зависимости, приведенной в работе [4], принимая величину поправки постоянной во всем диапазоне скорости резания.

Выводы

1. Установлены частные и общие зависимости стойкости МВРС от основных конструктивных параметров и скорости резания $T = f(V, d, p, \sin \varphi, K)$ при резбонарезании в заготовках из углеродистых конструкционных сталей (см. табл. 4), обеспечивающих точность расчета в пределах 5%.

2. Экспериментальные исследования показали, что зависимости стойкости инструмента от скорости резания $T = f(V)$ и угла режущей части $T = f(\sin \varphi)$ носят экстремальный харак-

тер, а влияние диаметра и шага — монотонный характер.

3. Сравнение стойкости стандартных метчиков и МВРС в указанных диапазонах скоростей резания показывает, что для обработки глухих отверстий без СОТС МВРС обеспечивают повышение стойкости на 25...35%, а для обработки сквозных отверстий при использовании СОТС — на 40...50%.

Литература

1. Древалъ А.Е., Литвиненко А.В., Нгуен Туан Хиеу. Расчет конструктивных параметров метчиков с внутренним размещением стружки // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2008. № 3. С. 63–72.
2. Каталог метчиков для резьб большого диаметра фирмы Ernst Reime Vertriebs GmbH (Германия). NORIS-INNENSPAN machine taps [Электронный ресурс]. (http://www.reime-noris.de/eng/pdf_eng/Innenspan_GB.pdf). Дата обращения 16.05.2013.
3. Методика экспериментальных исследований по определению исходных данных для разработки общемашиностроительных нормативов режимов резания по основным видам обработки. М.: НИИМаш, 1982. 160 с.
4. Нгуен Туан Хиеу, Литвиненко А.В. Критерий затупления метчиков с внутренним размещением стружки // Вестник машиностроения. 2008. № 9. С. 50–52.
5. Грановский Г.И. Обработка результатов экспериментальных исследований резания металлов. М.: Машиностроение, 1982. 112 с.
6. Древалъ А.Е., Зеленцова Н.Ф., Колобаев Л.И. Математическая обработка результатов с применением ЭВМ. М.: МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1986. 36 с.

References

1. Dreval' A.E., Litvinenko A.V., Nguen Tuan Khieu. Raschet konstruktivnykh parametrov metchikov s vnutrennim razmeshcheniem struzhki [Calculation of Design Parameters tap with the internal accommodation chip]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Mashinostroenie*. [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building]. 2008, no. 3, pp. 63–72.
2. *Katalog metchikov dlia rez'b bol'shogo diametra firmy Ernst Reime Vertriebs GmbH (Germaniia)* (Catalog of taps for threading large-diameter firm Ernst Reime Vertriebs GmbH (Germany)). NORIS-INNENSPAN machine taps. Available at http://www.reime-noris.de/eng/pdf_eng/Innenspan_GB.pdf (Accessed 16 may 2013).
3. *Metodika eksperimental'nykh issledovaniy po opredeleniiu iskhodnykh dannykh dlia razrabotki obshchemashinostroitel'nykh normativov rezhimov rezanie po osnovnym vidam obrabotki* [Methods of experimental studies to determine baseline data for the development of general machine-building standards mode cuts the main types of treatment]. Moscow, NIIMash publ., 1982. 160 p.
4. Nguen Tuan Khieu, Litvinenko A.V. Kriterii zatupleniia metchikov s vnutrennim razmeshcheniem struzhki [A blunting criterion of the taps with internal chip allocation]. *Vestnik Mashinostroeniia* [Russian Engineering Research]. 2008, no. 9, pp. 50–52.
5. Granovskii G.I. *Obrabotka rezul'tatov eksperimental'nykh issledovaniy rezaniia metallov* [Processing of the results of experimental studies of metal cutting]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1982. 112 p.
6. Dreval' A.E., Zelentsova N.F., Kolobaev L.I. *Matematicheskaia obrabotka rezul'tatov s primeneniem EVM* [The mathematical treatment of the results with the use of computers]. Moscow, MVTU im. N.E. Bauman publ., 1986. 36 p.

Статья поступила в редакцию 21.05.2013

Информация об авторах

ДРЕВАЛЬ Алексей Евгеньевич (Москва) — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Инструментальная техника и технологии». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: dreval_a@mail.ru).

ЛИТВИНЕНКО Анатолий Васильевич (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Information about the authors

DREVAL Alexey Evgenievich (Moscow) — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of «Instrumental Technique and Technology» Department. Bauman Moscow State Technical University (BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, 105005, Moscow, Russian Federation, e-mail: dreval_a@mail.ru).

LITVINENKO Anatoly Vasilievich (Moscow) — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of «Instrumental Technique and Technology» Department. Bauman Moscow State Technical University (BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, 105005, Moscow, Russian Federation).