

УДК 621.993

Моделирование отказов машинных метчиков при реверсе

Древал А. Е.^{1,*}, Литвиненко А. В.¹,
Нгуен Т. Х.²

* dreval_a@mail.ru

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

²Технологический институт, Ханой, Вьетнам

Значительное количество отказов метчиков в виде поломок возникает при реверсе из-за попадания под заднюю поверхность корней стружки. Моделирование реверса при резбонарезании метчиками показало, что момент реверса метчиков с внутренним размещением стружки меньше, чем момент реверса стандартных метчиков. Это объясняется наличием упругих деформаций в радиальном направлении у зубьев метчиков с внутренним размещением стружки, чего не наблюдается у стандартных метчиков. Уменьшение момента реверса приводит к снижению количества отказов в виде разрушения. Представлено заключение по результатам моделирования.

Ключевые слова: метчик, резбонарезание, стружка, момент, реверс, моделирование, отказ

Введение

Многолетние наблюдения за работой машинных метчиков показывают, что значительное количество отказов в виде поломок инструмента или скалывания зубьев возникают при реверсе (вывинчивании) метчиков из отверстия. Эти отказы возникают, когда режущая часть метчика находится в отверстии заготовки, что характерно для процесса нарезания резьбы в глухих отверстиях. По данным работы [1] отказы по этой причине составляют до 75% от общего количества отказов метчиков. Близкие результаты получены авторами статьи в результате наблюдений за работой метчиков в производственных условиях [2]. Части разрушенных метчиков, оставшиеся внутри резьбового отверстия, трудно извлекаются, что оказывает существенное влияние на качество резьбы и производительность технологического процесса.

Цель работы - методом моделирования реверса метчиков при резбонарезании обосновать рациональность придания радиальной упругости зубьям инструмента для снижения количества отказов.

Механизм возникновения момента реверса

В момент реверса на режущей части метчика, расположенной внутри отверстия, остаётся не отделившаяся от обрабатываемой поверхности заготовки часть стружки, которую называют корнем стружки [3]. Также используется термин «донная стружка» [4].

Траектория вывода инструмента из зоны резания совпадает с траекторией срезания припуска и каждый режущий профиль зуба метчика проходит ранее образованную трассу, где остались корни стружек, которые сминаются и попадают под затылок зуба инструмента. Поэтому в начале реверса наблюдается всплеск момента реверса, что подтверждают исследования.

На рис. 1 представлена типовая осциллограмма момента резбонарезания и реверса, из которой можно определить момент, необходимый для преодоления корней стружки по зависимости $M_{см} = M_{вв} - M_{к}$

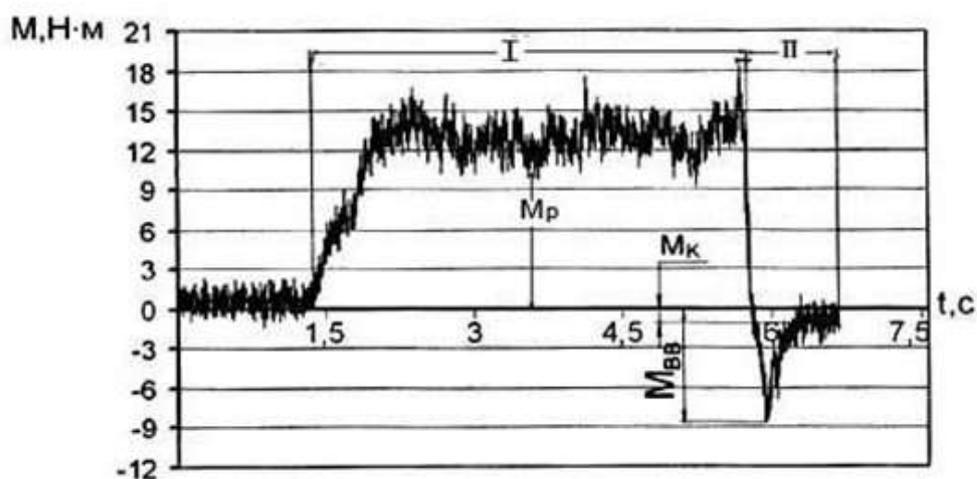


Рис 1. Осциллограмма момента резбонарезания метчиком в глухом отверстии; I - процесс резбонарезания, II - процесс реверса; M_p - момент резбонарезания, $M_{вв}$ - максимальный момент реверса, M_k - момент трения направляющей метчика части при реверсе.

Одновременно с корнями стружки под затылок зуба метчика могут попадать фрагменты отделившихся стружек, которые образовались при рабочем цикле резбонарезания и размещены в канавках инструмента. Совместное влияние этих двух факторов приводит к скалыванию кромок лезвий, разрушению зубьев или метчика в целом. Возможность попадания отделившихся стружек под затылки зубьев зависит от вида стружек, профиля и объёма стружечных канавок, величин задних углов, формы задних поверхностей и других конструктивных особенностей режущей части метчиков. Поэтому воздействие этого фактора носит случайный характер и его влияние сложно учитывать. Воздействие на зубья метчиков корня стружки при реверсе является постоянным детерминированным фактором, что и определяет исследование влияния корней стружки на отказы метчиков.

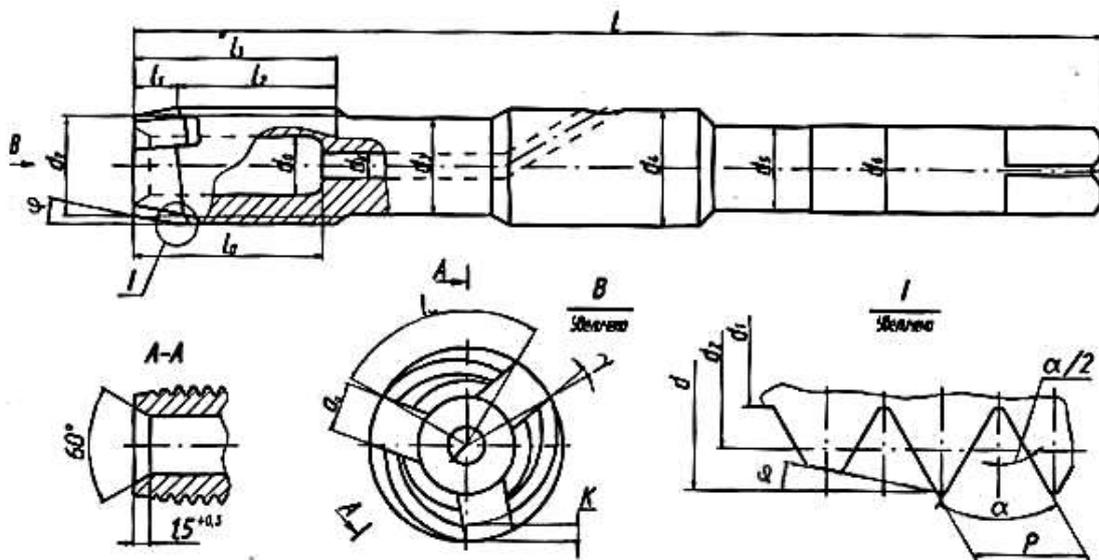


Рис. 2. Метчик с внутренним размещением стружки.

В работе [5] представлены результаты компьютерного моделирования напряженного и деформационного состояния зубьев метчиков при смятии корня стружки в начале реверса. Компьютерное моделирование показало наличие упругих деформаций в радиальном направлении зубьев метчиков с внутренним размещением стружки (МВРС) (рис.2), что приводит к уменьшению максимальных напряжений на лезвиях по сравнению с напряжениями, возникающими на лезвиях стандартных метчиков [5]. Этим объясняется меньшая вероятность разрушения лезвий МВРС при реверсе.

Экспериментальное исследование и моделирование момента реверса

Возможность упругой деформации зубьев МВРС должна приводить к уменьшению крутящего момента при реверсе, для подтверждения этого выполнены сравнительные испытания метчиков одинаковых размеров и геометрических параметров, но с различной конструкцией режущей части метчиков.

Метчики с внутренним размещением стружки (рис.2) имеют ряд конструктивных отличий по сравнению со стандартными метчиками[6]. Наличие внутренней полости диаметром d_0 и глубиной l_0 для размещения стружки определяет особенности формы зубьев инструмента. Режущая часть МВРС образована разомкнутыми зубьями, расположенными на направляющей части l_2 , поперечное сечение которых представляет собой сектор кругового кольца l высотой l_1 . Это позволяет рассматривать зуб МВРС как жестко закрепленную консольную балку, который, в отличие от зуба стандартного метчика, может упруго

деформироваться в радиальном направлении. Имеются и другие отличия конструктивных элементов стандартных метчиков и МВРС [7].

Экспериментально установлено - при нарезании резьбы размером М12х1,5 в заготовках из конструкционной стали 45 твердостью НВ185 трезубыми метчиками из Р6М5 с углом режущей части $\varphi = 18^0$ при скорости резания $v = 9,4$ м/мин из 10 опытов среднее значение момента реверса составило: для стандартных метчиков $M = 11,25$ Н·м при среднеквадратическом отклонении $S = 1,58$ Н·м, для инструмента МВРС соответственно среднее значение $M = 5,7$ Н·м при $S = 1,03$ Н·м.

Результаты эксперимента показывают, что наличие упругой деформации зубьев метчика приводит к значительному уменьшению момента реверса при резбонарезании. Поэтому разрушения МВРС встречаются реже, чем разрушения метчиков стандартных конструкций [8,9,10].

Величина момента реверса определяется толщиной корня стружки. Для установления взаимосвязи между значениями момента реверса и толщиной стружки выполнено физическое моделирование процесса попадания корней стружки различной толщины под заднюю поверхность МВРС и стандартных метчиков, что на качественном уровне должно подтвердить результаты компьютерного моделирования. При моделировании исключалось попадание отделившейся стружки под задние поверхности инструментов.

Для проведения физического моделирования разработано приспособление, показанное на рис.3. В резьбовой втулке 5 выполнено радиальное резьбовое отверстие для установки винта 2. Величиной вылета винта 2 за пределы образующей конуса режущей части метчика имитируется толщина m корня стружки. Крутящий момент при реверсе регистрируется аппаратурой экспериментального стенда, включающей динамометр УДМ 600 усилитель, приборный щит, персональный компьютер.

Моделирование момента реверса производилось на одном зубе инструмента, общий момент реверса определялся по формуле:

$$M_{\text{реверс}} = z \cdot M_{\text{зуб}} ,$$

где: z – число зубьев метчика;

$M_{\text{зуб}}$ – крутящий момент реверса, приходящийся на один зуб.

Использованы МВРС и стандартные метчики размерами М12х1,5 из быстрорежущей стали Р6М5 с углом режущей части $\varphi = 18^0$. Моделирование корня стружки производилось установкой режущей кромки метчика относительно вылета вершины винта 2, имитирующего толщину стружки, в угловое положение, равное или превышающее угол β , определяемый из развертки на плоскость затылованной части ВАС задней поверхности зуба (рис.3б) по зависимости: $\beta = 2 m/D \operatorname{tg} \alpha$, где: D - диаметр метчика; α - задний угол, определяемый по формуле $\operatorname{tg} \alpha = k z/\pi D$, где k - падение задней поверхности при затыловании.

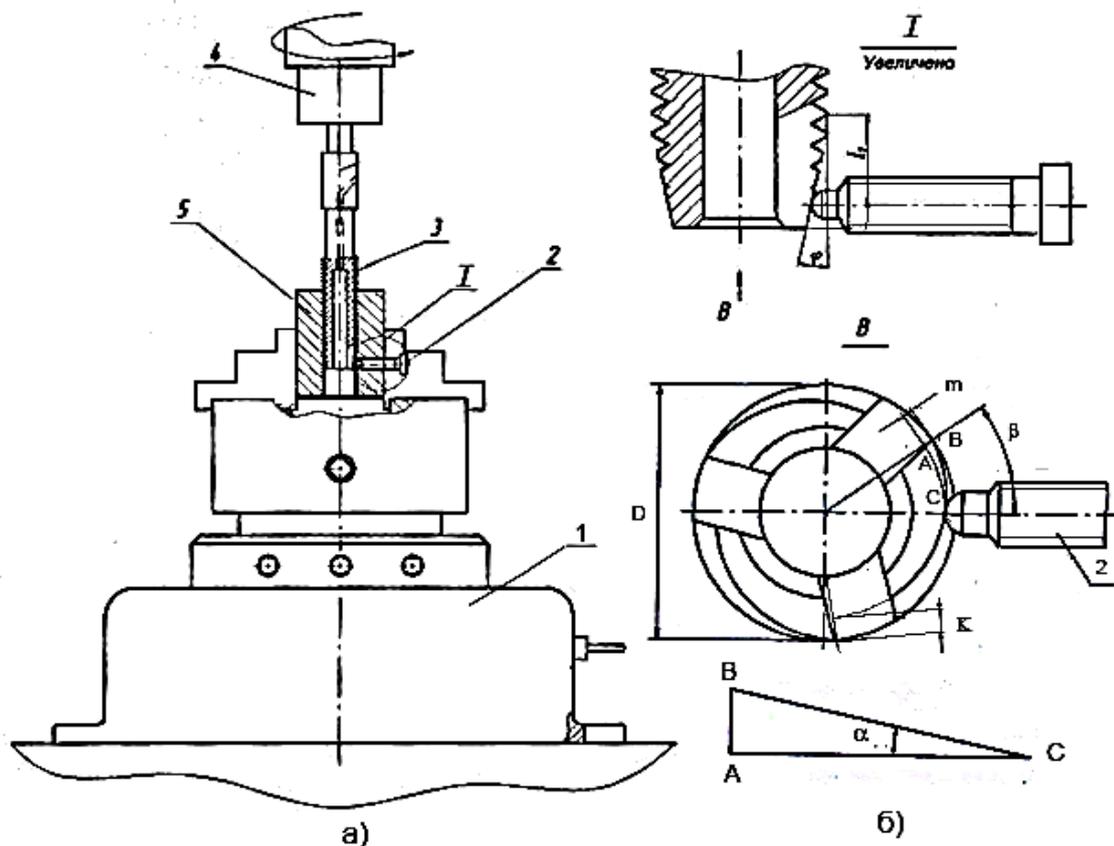


Рис.3. Аппаратура и приспособление для определения крутящего момента при реверсе метчика – а; моделирование корня стружки-б. 1- динамометр, 2-винт, 3- метчик, 4- патрон, 5- образец

Авторы понимают недостатки предлагаемой схемы моделирования, к которым можно отнести: реальный контакт затылка зуба со стружкой по площадке (рис.4) заменен на точечный; моделирование выполняется на одном зубе, в то время как корни стружки присутствуют на всех зубьях; не учитывается возможность попадания части отделившейся стружки под затылок зубьев метчика.

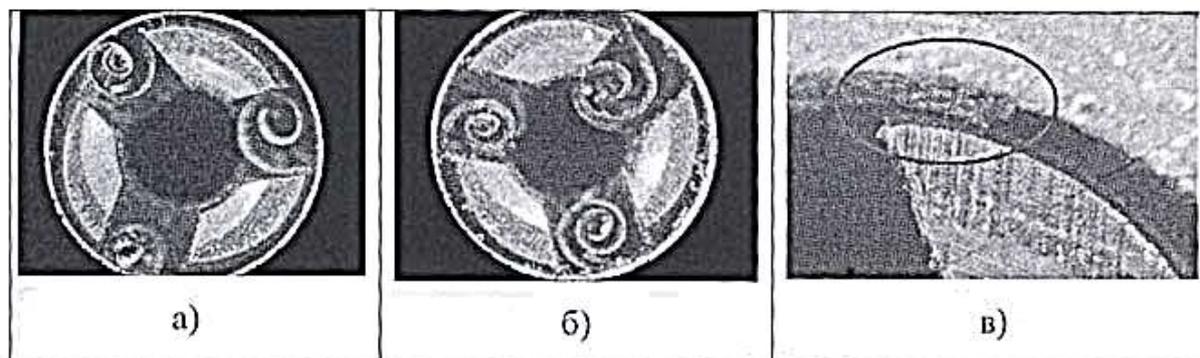


Рис.4. Корни стружек при резбонарезании и реверсе метчика: при резбонарезании, б – начало реверса, в – смятие корня стружки.

Принятая схема реально подтверждает, что наличие упругости зуба метчика обуславливает уменьшение крутящего момента при реверсе, источником которого является смятие корня стружки, и как следствие, уменьшение вероятности разрушения инструмента. Это позволяет считать, что предложенная схема применима для сравнительной оценки конструкций зубьев метчиков по усилиям, возникающим при реверсе. Предпочтительной является конструкция режущей части метчика, при которой достигается меньшее значение момента реверса.

При выполнении экспериментов имитированы толщины корня стружки m от 0,09 до 0,46 мм с шагом, приблизительно равным 0,09 мм. Значения максимальных моментов реверса метчиков приведены на рис.5. Отношение величин моментов реверса МВРС и стандартных метчиков в интервале значений имитированной толщины корня стружки m колеблется от 4-х до 4,5 раз.

Моделирование момента реверса при смятии корня стружки в отличие от непосредственного измерения момента реверса при резьбонарезании позволяет лучше оценить влияние упругих смещений зубьев на момент реверса, т.к. при моделировании отсутствует отделившаяся стружка.

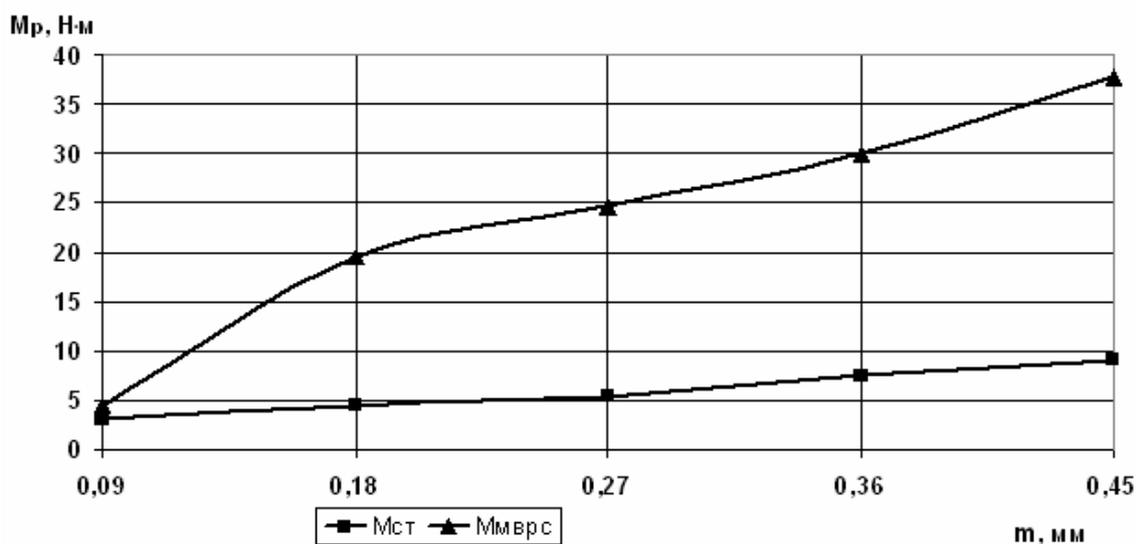


Рис.5. Зависимость момента реверса метчиков М12х1.5 при моделировании от толщины корня стружки m .

Заключение

1. Моделирование показало, что наличие упругой деформации зубьев МВРС в радиальном направлении приводит к снижению момента реверса по сравнению со стандартными метчиками и имеет следствием, уменьшение количества отказов инструмента. Моделирование качественно подтверждает результаты ранее выполненного компьютерного моделирования.

2. Момент реверса зависит от толщины корня стружки нелинейно, при одинаковых геометрических параметрах зубьев и условиях моделирования его значения для стандарт-

ных метчиков превышают для МВРС до четырех раз. Этим можно объяснить наблюдаемое меньшее количество отказов МВРС при их эксплуатации.

3. Предложенный метод моделирования может быть использован для относительной оценки работоспособности метчиков с новыми конструкциями зубьев и способами их заточки. Предпочтение имеют те конструкции метчиков, у которых достигается наименьшая величина момента реверса.

Список литературы

1. Евстигнеева О.Н. Повышение надежности работы метчиков при нарезании резьб в глухих отверстиях конструкторско-технологическими методами: дис. ... канд. техн. наук. М., 2003. 132 с.
2. Литвиненко А.В. Разработка и исследование способов повышения надежности машинно-ручных метчиков: дис... канд. техн. наук. М., МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1987. 239 с.
3. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. М.: Высшая школа, 1985. 304 с.
4. Матвеев В.В. Нарезание точных резьб. М.: Машиностроение, 1978. 114 с.
5. Кононов О.В., Литвиненко А.В., Нгуен Туан Хиеу. Расчет напряженного и деформированного состояния на режущих зубьях метчика с внутренним размещением стружки при реверсе // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2008. № 3. С. 110-115.
6. ГОСТ 3266-81. Метчики машинно-ручные. Конструкция и размеры. М.: Изд-во стандартов, 1981. 98 с.
7. Древаль А.Е., Литвиненко А.В., Нгуен Туан Хиеу. Расчет момента разрушения метчиков с внутренним размещением стружки // Известия вузов. Машиностроение. 2008. № 2. С. 63-68.
8. Каталог метчиков для резьб большого диаметра фирмы Ernst Reime GmbH (Германия) // Teco Tooling Pty Ltd: сайт. Режим доступа: http://www.teco.net.au/pdf/noris_machine_taps.pdf (дата обращения 21.12.2015).
9. Нгуен Туан Хиеу. Разработка конструкций и исследование работоспособности метчиков с внутренним размещением стружки: дис. ... канд. техн. наук. М., МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 172 с.
10. Emuge. Thread Cutting Technology. Clamping Technology. Toll Catalogue140. EMUGE – Werk Richard Glimpel GmbH & Co. KG Fabrik für Präzisionswerkzeuge, 2010. 760 p.

Modeling of Machine Tap Failures at the Moment of Reverse

A.E. Dreval^{1,*}, A.V. Litvinenko¹,
T.Kh. Nguen²

*dreval_a@mail.ru

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

²Institute of Technology, Hanoi, Vietnam

Keywords: tap, threading tap, chip, the reverse torque, reverse, modeling, failure

Manufacturing observations of running machine taps show that a significant number of failures, as the breakages, arise from the threaded hole at the reverse. While a cutting part of the tap is inside the holes the chip roots, non-separated from the treated surface, remain there and under the reverse fall under the tooth relief with the main chip fragments, thereby leading to the tool failure.

Experience with chip-inside-taps (CIT) shows that their failures are less common than those of the standard design taps. This is due to the difference in structures of the cutting parts of taps. The teeth of the cutting part of CIT are shaped as a rigidly fixed cantilever beam the cross-section of which is a circular ring sector. Such shape of the teeth of CIT allows radially directed elastic deformation that reduces the effect of jamming the root and separating chips between the rear teeth surfaces of the tap and the treated surface and, as a consequence, reduces the force and the moment acting on the tool.

The reverse torque for standard taps and CITs has been simulated. A device to simulate ingress of chip roots under the back surface of the taps has been developed. The effect of the chip root thickness at the moment of reverse has been experimentally studied using the high-speed standard taps and CIT sizes of M12x1.5. It has been found that for standard taps and CITs the moment of reverse under the same simulation conditions is nonlinearly dependent on the thickness of root chips and has a growing character. The reverse moment values for standard taps are up to four times more than those for CITs. This is to explain the fewer CIT failures observed during their operation.

Based on the experimentally obtained relationships, as the simulation results, a conclusion is proposed that it is expedient for the cutting part of taps to have elasticity to raise their efficiency.

References

1. Evstigneeva O.N. *Povyshenie nadezhnosti raboty metchikov pri narezanii rez'b v glukhikh otverstiyakh konstruktorsko-tekhnologicheskimi metodami. Kand. dis.* [Improving the reliability of operation of taps when thread cutting in blind holes by design and engineering methods. Cand. diss.]. Moscow, 2003. 132 p. (in Russian, unpublished).
2. Litvinenko A.V. *Razrabotka i issledovanie sposobov povysheniya nadezhnosti mashinno-ruchnykh metchikov. Kand. dis.* [Development and investigation of methods for improving the reliability of machine and manual taps. Cand. diss.]. Moscow, Bauman MSTU, 1987. 239 p. (in Russian, unpublished).
3. Granovskii G.I., Granovskii V.G. *Rezanie metallov* [Cutting of metals]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1985. 304 p. (in Russian).
4. Matveev V.V. *Narezanie tochnykh rez'b* [Precision thread cutting]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1978. 114 p. (in Russian).
5. Kononov O.V., Litvinenko A.V., Nguyen Tuan Hieu. Calculation of Stress and Strain State at Cutting Teeth of Threader with Internal Position of Cutting Waste During Reverse. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie = Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Ser. Mechanical Engineering*, 2008, no. 3, pp. 110-115. (in Russian).
6. *GOST 3266-81. Metchiki mashinno-ruchnye. Konstruktsiya i razmery* [State Standard 3266-81. Machine and hand taps. Design and dimensions]. Moscow, Standards Publishing House, 1981. 98 p. (in Russian).
7. Dreval' A.E., Litvinenko A.V., Nguen Tuan Hieu. Calculation of the moment of destruction of taps with the internal position of cutting waste. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie = Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2008, no. 2, pp. 63-68. (in Russian).
8. *NORIS-INNENSPAN. The reliable alternative for large threads. Product Information.* Ernst Reime GmbH (Germany). Teco Tooling Pty Ltd: website. Available at: http://www.teco.net.au/pdf/noris_machine_taps.pdf, accessed 21.12.2015.
9. Nguyen Tuan Hieu. *Razrabotka konstruktsiy i issledovanie rabotosposobnosti metchikov s vnutrennim razmeshcheniem struzhki. Kand. diss.* [Development of designs and research working capacity of taps with internal allocation of chips. Cand. diss.]. Moscow, Bauman MSTU, 2008. 172 p. (in Russian, unpublished).
10. *Emuge. Thread Cutting Technology. Clamping Technology. Toll Catalogue140.* EMUGE – Werk Richard Glimpel GmbH & Co. KG Fabrik für Präzisionswerkzeuge, 2010. 760 p.