

УДК 621.91.02; 621.993

# Исследование момента резания метчиков с внутренним размещением стружки при использовании ионизированного воздуха в качестве смазочно-охлаждающей среды\*

**А.В. Литвиненко, Н.Н. Зубков**

МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

## Analysis of cutting torques during tapping with internal chip placement using ionized air as a cooling and lubricating fluid

**A.V. Litvinenko, N.N. Zubkov**

Bauman Moscow State Technical University, Building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, 105005, Moscow, Russian Federation



e-mail: nukmt@bmstu.ru, zoubkovn@bmstu.ru

**i** Для машиностроительных производств актуальным является повышение надежности операции резьбообразования метчиками, а также отказ от использования жидких смазочно-охлаждающих сред в операциях резанием. Представлены результаты и обсуждение экспериментов по определению момента резания и момента реверсирования при нарезании метрических резьб метчиками с внутренним размещением стружки (МВРС) по сравнению со стандартными метчиками при использовании в качестве смазочно-охлаждающей технологической среды ионизированного воздуха. Исследовано нарезание метрических резьб М12×1,75 на стали 40Х, алюминиевом сплаве АК6, чугуне СЧ15, меди М06. Подтверждено снижение момента резания и момента реверсирования для МВРС по сравнению со стандартными метчиками: конструкция МВРС обеспечивает снижение момента резания почти в 2 раза, а момента реверсирования — в несколько раз. Показана перспективность использования ионизированного воздуха в качестве смазочно-охлаждающей среды для работы МВРС. В результате исследования установлено, что наибольший эффект ионизированный воздух оказывает на снижение момента реверсирования при обработке алюминиевого сплава АК6 и меди М06.

**Ключевые слова:** резьбонарезание, метчик, ионизированный воздух, охлаждение, момент резания, момент реверсирования.

**i** Increasing the reliability of thread cutting by taps without using liquid lubricants is of great importance for engineering industries. The results of experimental study of cutting and reversal torques during tapping metric threads with taps, having internal chip placement using ionized air as a cooling and lubricating fluid are presented, discussed, and compared with thread cutting by conventional taps. Tapping M12×1.75 internal metric threads in low-alloy steel, aluminum alloy, gray cast iron, and pure copper is studied. It has been found that the cutting torque for taps with internal chip placement decreases almost by one half and their reversal torque decreases several times as compared to conventional taps. The pro-

\* Публикация подготовлена в рамках Государственного задания.

spects of using ionized air as a cooling and lubricating fluid for taps with internal chip placement are discussed. The most significant reduction of the reversal torque due to ionized air has been observed when processing aluminum alloy and copper.

**Keywords:** thread cutting, tap, ionized air, cooling, cutting torque, reversal torque.

Свыше 75 % случаев выкрашивания режущих кромок и поломок метчиков происходит при вывинчивании метчика из глухого отверстия [1]. Это обусловлено тем, что при реверсировании метчика под задние поверхности зуба попадают как корни стружки, так и ее элементы, оставшиеся в глухом отверстии. При вывинчивании происходит заклинивание корней или элементов стружки между стенкой отверстия и задней поверхностью режущего клина метчика, что может вызвать как выкрашивание режущих кромок, так и разрушение самого метчика за счет значительного увеличения крутящего момента. Для нарезания резьбы в глухих отверстиях перспективным является использование метчиков с внутренним размещением стружки (МВРС) [2], конструкция которых обеспечивает существенное повышение надежности работы резьбообразующего инструмента. Особенностью конструкции МВРС (рис. 1) является внутреннее отверстие, предназначенное как для размещения стружки, так и обеспечивающее упругое радиальное деформирование режущих перьев метчика при попадании стружки под его заднюю поверхность при реверсировании. Возможность упругой радиальной деформации зубьев метчика снижает контактные давления на его заднюю поверхность, что значительно уменьшает вероятность как сколов режущего клина, так и отказа метчика вследствие его поломки [2, 3].

Для МВРС, так же, как и для обычных метчиков, актуальной технической задачей является проблема снижения их износа и момента резьбообразования. Один из эффективных методов повышения работоспособности режущего инструмента — использование смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). Однако су-



Рис. 1. Конструкция режущей части метчика с внутренним размещением стружки

ществующие экологические проблемы, связанные с их изготовлением, применением и утилизацией, требуют отказа или минимизации их использования, что является основной тенденцией развития современной металлообработки. Один из вариантов замены СОЖ — подача в зону резания воздушных сред, в том числе ионизированных, которые выполняют функции как охлаждения, так и снижения трения между инструментом и заготовкой [4–6].

Очевидна взаимосвязь стойкости и надежности работы метчиков с крутящим моментом при резьбонарезании [7] и реверсировании, которые и послужили оценкой повышения/снижения работоспособности метчика. Далее приведены результаты экспериментов при измерении моментов резания и реверсирования при работе МВРС и их обсуждение в сравнении со стандартными метчиками при обработке различных конструкционных материалов при использовании ионизированного воздуха (ИВ) в качестве смазочно-охлаждающей технологической среды (СОТС). Аналогичная постановка задачи рассмотрена в работе [8]. В данной статье исследованы другие обрабатываемые материалы и проведено сравнение работы МВРС со стандартными метчиками.

Цель работы — анализ возможности замены жидких смазочно-охлаждающих сред на ИВ при работе стандартных метчиков и МВРС.

**Методика проведения эксперимента.** Исследовались быстрорежущие (Р6М5) метчики М12×1,75 с внутренним размещением стружки (рис. 2). Сравнение проводилось со стандартными метчиками для нарезания метрической резьбы по ГОСТ 3266–81.

При нарезании резьбы в качестве обрабатываемого использовались следующие материалы: сталь 40Х (ГОСТ 4543–71), алюминиевый сплав АК6 (ГОСТ 4784–97), серый чугун СЧ15 (ГОСТ 1412–85), медь М06 (ГОСТ 859–78). По каждому значению исследуемого параметра для каждого обрабатываемого материала проводилось три эксперимента, данные которых усреднялись. При нарезании резьбы фиксировалось установившееся значение крутящего момента  $M_{кр}$ , а при выкручивании метчика — максимальное значение момента реверсирования  $M_{рев}$ .

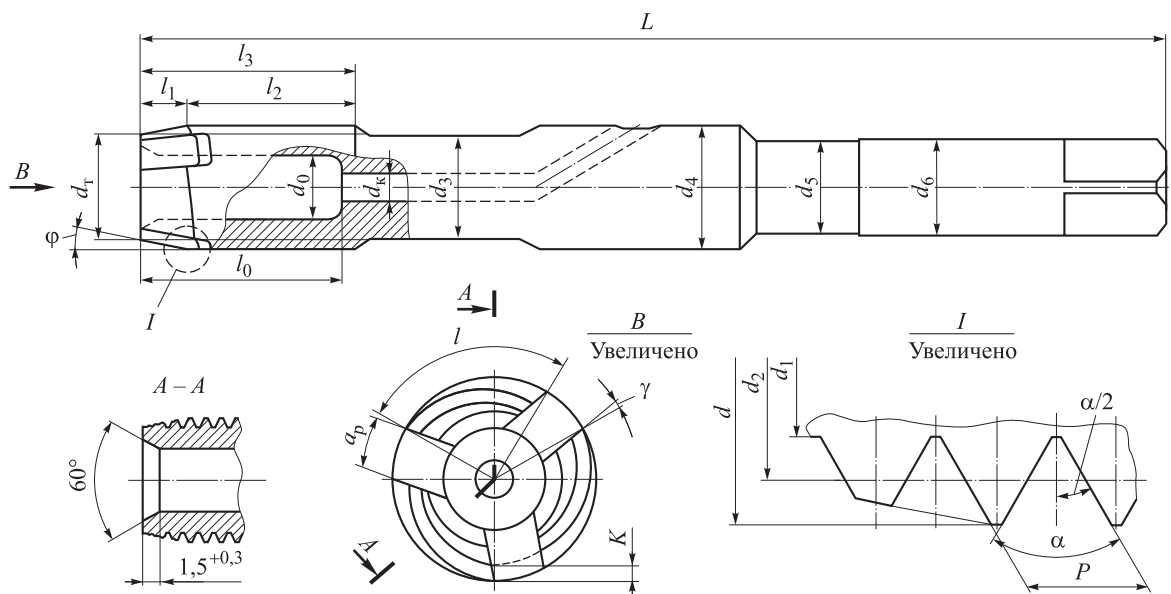


Рис. 2. Конструкция метчиков с внутренним размещением стружки [2]

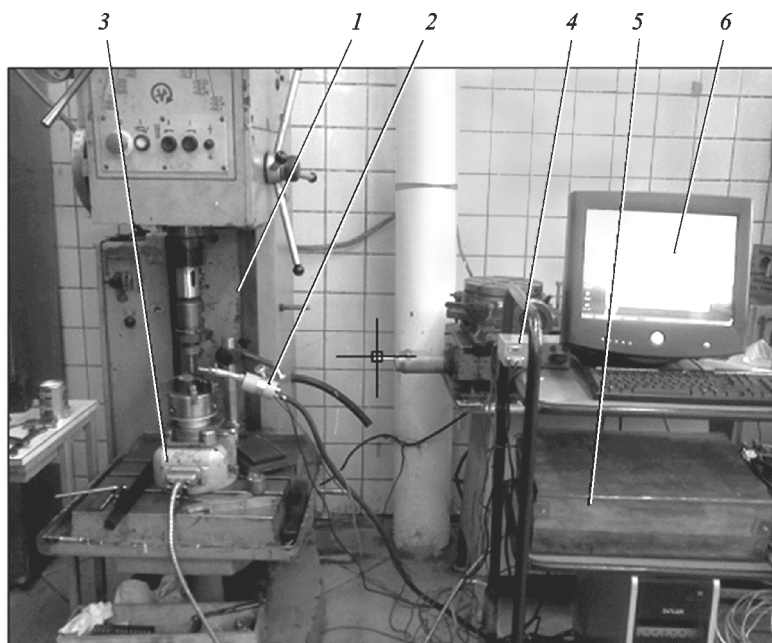


Рис. 3. Экспериментальный стенд [8]:

1 — вертикально-сверлильный станок 2Н135; 2 — ионизатор сжатого воздуха; 3 — динамометр УДМ-600; 4 — блок питания ионизатора; 5 — блок обработки сигнала с динамометра; 6 — ПЭВМ

Использовался экспериментальный стенд на базе вертикально-сверлильного станка 2Н135 [8] (рис. 3). Момент резания метчика и момент реверсирования измерялись динамометром УДМ-600, оснащенный тензометрическим усилителем, фильтром, коммутатором и платой АЦП с записью результатов на ПЭВМ. Принцип и описание устройства ионизации воздуха приведены в работе [6]. В экспериментах давление воздуха от компрессора на входе в ионизатор составляло 0,45 МПа. Подача воздуха по-

сле ионизатора осуществлялась через сопло, направленное непосредственно в отверстие с нарезаемой резьбой. Метчик закреплялся в шпинделе станка с помощью компенсирующего патрона. Эксперименты проводились на кафедре «Инструментальная техника и технологии» МГТУ им. Н.Э. Баумана [1].

**Результаты эксперимента и их анализ.** Зависимость изменения моментов резания  $M_{кр}$  от частоты вращения шпинделя для стандартного

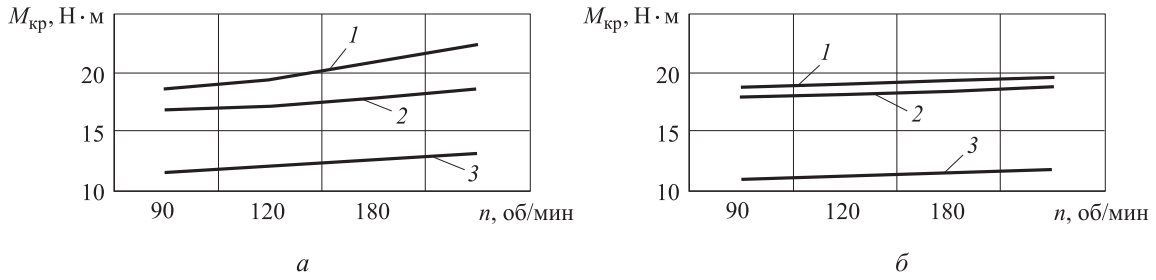


Рис. 4. Зависимость  $M_{кр}$  от частоты вращения шпинделя для стандартного метчика:  
 а — без использования ИВ ( $1 - y = 1,305x + 17,16, R^2 = 0,9872$ ;  $2 - y = 0,588x + 16,19, R^2 = 0,9402$ ;  $3 - y = 0,598x + 10,97, R^2 = 0,9824$ ); б — с применением ИВ в качестве СОТС ( $1 - y = 0,413x + 17,58, R^2 = 0,9363$ ;  $2 - y = 0,524x + 15,845, R^2 = 0,9261$ ;  $y = 0,402x + 10,84, R^2 = 0,9678$ ); 1 — М12 по АК6; 2 — М12 по стали 40Х; 3 — М12 по чугуна СЧ15

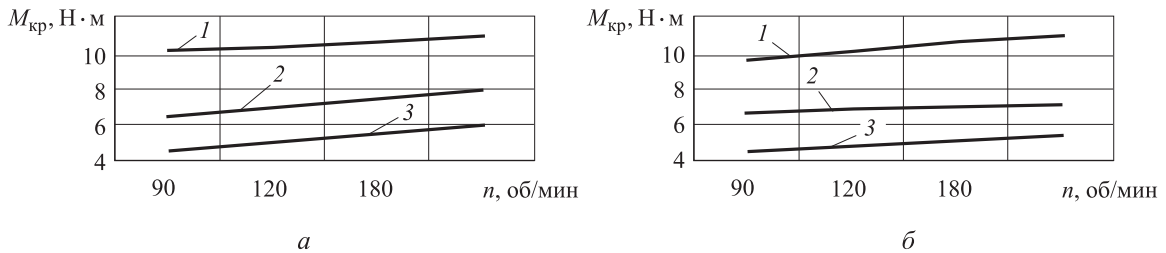


Рис. 5. Зависимость  $M_{кр}$  от частоты вращения шпинделя для МВРС:  
 а — без использования ИВ ( $1 - y = 0,419x + 9,835, R^2 = 0,9911$ ;  $2 - y = 0,463x + 6,165, R^2 = 0,9913$ ;  $3 - y = 0,382x + 4,495, R^2 = 0,9846$ ); б — с применением ИВ в качестве СОТС ( $1 - y = 0,435x + 9,355, R^2 = 0,9956$ ;  $2 - y = 0,171x + 6,495, R^2 = 0,7652$ ;  $3 - y = 0,307x + 4,255, R^2 = 0,9978$ )

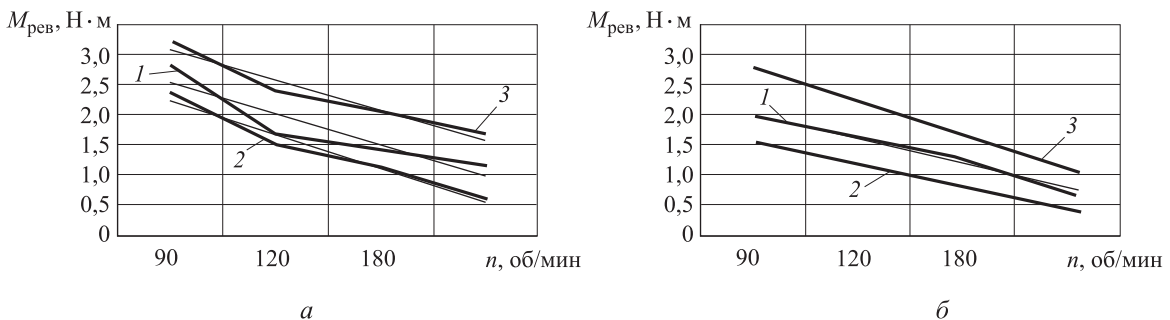


Рис. 6. Зависимость  $M_{рев}$  от частоты вращения шпинделя для стандартного метчика:  
 а — без обдува зоны резания ИВ ( $1 - y = -0,523x + 3,065, R^2 = 0,8694$ ;  $2 - y = -0,568x + 2,81, R^2 = 0,9711$ ;  $3 - y = -0,501x + 3,586, R^2 = 0,9546$ ); б — с обдувом зоны резания ИВ ( $1 - y = -0,383x + 2,375, R^2 = 0,9943$ ;  $2 - y = -0,407x + 2,01, R^2 = 1$ ;  $3 - y = -0,575x + 3,412, R^2 = 0,9978$ )

метчика без использования ИВ и с его использованием представлены на рис. 4. В подписях к рисункам приведены аппроксимирующие функции зависимости момента от числа оборотов с указанием значения коэффициента достоверности аппроксимации  $R^2$ , вычисленного средствами программы Microsoft Excel. Наибольший момент резания наблюдался при нарезании резьбы в сплаве АК6, наименьший — для чугуна. Установлено, что обдув ИВ на момент резания практически не влияет при обработке чугуна и стали. Снижение момента резания составило единицы процента. При обработке сплава АК6, особенно на высоких скоростях резания (при 250 об/мин), обдув ИВ позволил снизить крутящий момент  $M_{кр}$  на 21 %.

Результаты аналогичного исследования для МВРС приведены на рис. 5. По сравнению со стандартными метчиками момент резания для МВРС значительно меньше как при резании с ИВ, так и без. Отмечено снижение момента резания для всех исследуемых материалов практически в 2 раза. Обдув зоны резания ИВ для МВРС также снижает момент резания  $M_{кр}$ . Влияние ИВ на процесс резания аналогично его влиянию при работе стандартных метчиков.

Анализ кривых изменения момента реверсирования для стандартного метчика и МВРС без использования ИВ и с использованием ИВ (рис. 6, 7) показывает, что момент реверсирования для МВРС в несколько раз меньше, чем для стандартного метчика, что является пря-

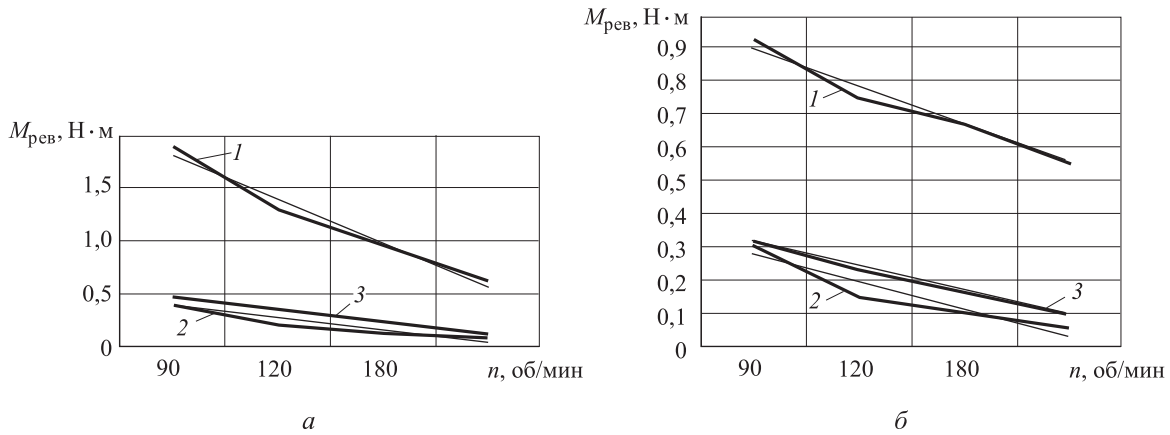


Рис. 7. Зависимость  $M_{рев}$  от частоты вращения шпинделя для МВРС:

$a$  — без обдува зоны резания ИВ ( $1 - y = -0,417x + 2,235, R^2 = 0,9744$ ;  $2 - y = -0,111x + 0,5, R^2 = 0,913$ ;  $3 - y = -0,116x + 0,6, R^2 = 0,9639$ );  $b$  — с обдувом зоны резания ИВ ( $1 - y = -0,119x + 1,02, R^2 = 0,9797$ ;  $2 - y = -0,083x + 0,36, R^2 = 0,9047$ ;  $3 - y = -0,072x + 0,385, R^2 = 0,9931$ ); 1 — М12 по АК6; 2 — М12 по стали 40Х; 3 — М12 по чугуны СЧ15

мым подтверждением повышения работоспособности МВРС по сравнению с обычными метчиками. Ионизированный воздух также снижает момент реверсирования как для стандартных метчиков, так и для МВРС.

Обобщенные данные по влиянию ИВ в качестве СОТС на момент резания и момент реверсирования для МВРС представлены на ги-

стограммах (рис. 8). Для стали 40Х и чугуна СЧ15 снижение моментов незначительно и для  $M_{кр}$ , и для  $M_{рев}$ . Наибольшее влияние ИВ выявлено для момента реверсирования при вывертывании МВРС из отверстий в алюминиевом сплаве АК6 и меди М06. Для этих материалов уменьшение момента реверсирования, обусловленное действием ИВ, составило до 30 %. Снижение момента резания и момента реверсирования при воздействии ИВ можно объяснить высокой химической активностью ИВ, поскольку в результате ионизации образуются высокоактивные озон и диоксид азота. Данные химически активные вещества способны образовывать оксидные или нитридные пленки [9, 10], которые имеют коэффициент трения и адгезионную способность значительно ниже, чем ювенильные поверхности, образующиеся в процессе резания.

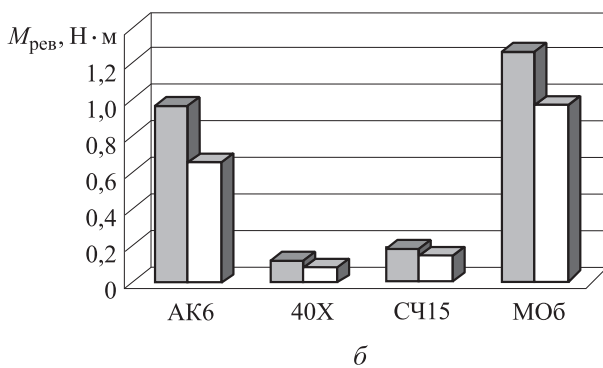
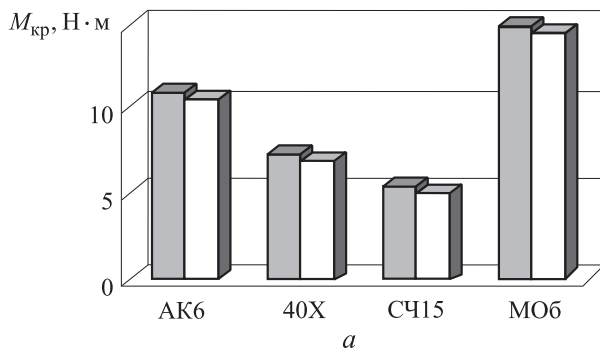


Рис. 8. Гистограмма момента резания  $M_{кр}$  ( $a$ ) и момента реверсирования  $M_{рев}$  ( $b$ ) метчика МВРС при частоте вращения шпинделя  $n = 180$  об/мин; ■ — без СОТС; □ — с обдувом ИВ

## Выводы

1. Подтверждены преимущества МВРС по сравнению со стандартными метчиками по критерию момента резания при нарезании резьбы и момента реверсирования при выкручивании метчика из глухого отверстия. Конструкция МВРС практически в 2 раза снижает момент резания и момент реверсирования в несколько раз.

2. Подтверждено положительное влияние обдува зоны резания ИВ для стандартных метчиков и для МВРС как при резании, так и при реверсировании. Наибольший положительный эффект (снижение моментов до 30 %) ИВ оказывает при резбонарезании в меди и

алюминиевом сплаве АК6. Для стали 40Х и чугуна СЧ15 влияние ИВ значительно меньше, при этом снижение моментов резьбообразования составляет не более 10 %.

## Литература

- [1] Угольников А.А. Исследование работоспособности метчиков с внутренним размещением стружки (МВРС) при обработке различных конструкционных материалов. *Тр. Всерос. науч.-техн. конф. Студенческая весна 2012: Машиностроительные технологии*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. URL: [http://studvesna.qform3d.ru/db\\_files/articles/594/thesis.pdf](http://studvesna.qform3d.ru/db_files/articles/594/thesis.pdf) (дата обращения 2 февраля 2015).
- [2] Нгуен Туан Хиеу. *Разработка конструкций и исследование работоспособности метчиков с внутренним размещением стружки*. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 15 с.
- [3] Кононов О.В., Литвиненко А.В., Нгуен Туан Хиеу. Расчет напряженного и деформированного состояний на режущих зубьях метчика с внутренним размещением стружки при реверсе. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2008, № 3, с. 110–115.
- [4] Татаринцов А.С., Петрова В.Д. Возможности и перспективы применения газообразного охлаждения при обработке резанием. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 1995, № 4, с. 57–65.
- [5] Курапов К.В. *Повышение работоспособности быстрорежущего инструмента путем применения охлажденного ионизированного воздуха*. Дисс. ... канд. техн. наук. Иваново, 2011. 152 с.
- [6] Есов В.Б., Климович К.О. Модернизация системы охлаждения металлорежущих станков с применением устройства охлаждения ионизированным воздухом (УОИВ). *Ремонт, Восстановление, Модернизация*, 2011, № 1, с. 10–13.
- [7] Литвиненко А.В. Исследование влияния условий резания на изнашивание метчиков с внутренним размещением стружки. *Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2013, № 8, с. 67–74. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/583417.html> (дата обращения 3 февраля 2015).
- [8] Шавва М.А. Исследование влияния СОТС ИВ на работоспособность метчиков. *Молодежный научно-технический вестник*, 2013, № 5. URL: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/568806.html> (дата обращения 2 февраля 2015).
- [9] Подураев В.Н. Механическая обработка с охлажденным ионизированным воздухом. *Вестник машиностроения*, 1991, № 11, с. 27–31.
- [10] Курносков Н.Е., Асосков А.С. Вихревая ионизация как средство совершенствования технологии механической обработки деталей. *Известия Тульского государственного университета. Сер. Технические науки*, 2012, № 1, с. 157–166.

## References

- [1] Ugol'nikov A.A. Issledovanie rabotosposobnosti metchikov s vnutrennim razmeshcheniem struzhki (MVRs) pri obrabotke razlichnykh konstruktсионnykh materialov [Health Study tap with an internal chip placement (MVRs) by treatment with various structural materials]. *Trudy Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Studencheskaia vesna 2012: Mashinostroitel'nye tekhnologii»* [Proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Conference «Student Spring 2012: Engineering technologies»]. Moscow, Bauman Press, 2012. Available at: [http://studvesna.qform3d.ru/db\\_files/articles/594/thesis.pdf](http://studvesna.qform3d.ru/db_files/articles/594/thesis.pdf) (accessed 02 February 2015).
- [2] Nguen Tuan Khieu. *Razrabotka konstruktсии i issledovanie rabotosposobnosti metchikov s vnutrennim razmeshcheniem struzhki*. Diss. kand. tekhn. nauk [Development of designs and research performance of taps with internal placement of chips. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, Bauman Press, 2008. 15 p.
- [3] Kononov O.V., Litvinenko A.V., Nguen Tuan Khieu. Raschet napriazhennogo i deformirovannogo sostoianii na rezhushchikh zub'iax metchika s vnutrennim razmeshcheniem struzhki pri reverse [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. Mechanical Engineering]. 2008, no. 3, с. 110–115.
- [4] Tatarinov A.S., Petrova V.D. *Vozможnosti i perspektivy primeneniia gazoobraznogo okhlazhdeniia pri obrabotke rezaniem*. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie* [Herald of the Bauman Moscow State State Technical University. Mechanical Engineering]. 1995, no. 4, pp. 57–65.
- [5] Kurapov K.V. *Povyshenie rabotosposobnosti bystrorezhushchego instrumenta putem primeneniia okhlazhdennogo ionizirovannogo vozdukhа*. Diss. kand. tekhn. nauk [Improving efficiency through the use of high-speed tools of ionized air cooled. Cand. tech. sci. diss.]. Ivanovo, 2011. 152 p.
- [6] Esov V.B., Klimochkin K.O. *Modernizatsiia sistemy okhlazhdeniia metallorezhushchikh stankov s primeneniem ustroistva okhlazhdeniia ionizirovannym vozdukhom (UOIV)* [Modernization of cooling system of metal-cutting machine-tools using the device for cooling with ionized air (UOIB)]. *Remont, Vosstanovlenie, Modernizatsiia* [Repair, Reconditioning, Modernization]. 2011, no. 1, pp. 10–13.
- [7] Litvinenko A.V. *Issledovanie vliianiia uslovii rezaniia na iznashivanie metchikov s vnutrennim razmeshcheniem struzhki* [Investigating the influence of cutting conditions on wear of thread cutters with an internal chip-carrying]. *Nauka i obrazovanie. MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education of the Bauman MSTU]. 2013, no. 8, pp. 67–74. Available at: <http://technomag.edu.ru/doc/583417.html> (accessed 03 February 2015).
- [8] Shavva M.A. *Issledovanie vliianiia SOTS IV na rabotosposobnost' metchikov* [Investigation of the influence on the performance of COTS IV taps]. *Molodezhnyi nauchno-tekhnicheskii vestnik* [Youth Science and Technology Bulletin]. 2013, no. 5. Available at: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/568806.html> (accessed 02 February 2015).
- [9] Poduraev V.N. *Mekhanicheskaiа obrabotka s okhlazhdennym ionizirovannym vozdukhom* [Machining with ionized air cooled]. *Vestnik mashinostroeniia* [Russian Engineering Research]. 1991, no. 11, pp. 27–31.
- [10] Kurnosov N.E., Asoskov A.S. *Vikhrevaia ionizatsiia kak sredstvo sovershenstvovaniia tekhnologii mekhanicheskoi obrabotki detalei* [Vortical ionization as means for improving of machining of details technology]. *Izvestiia Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Tekhnicheskie nauki* [Proceedings of the Tula State University. Ser. Technical sciences]. 2012, no. 1, pp. 157–166.

Статья поступила в редакцию 05.02.2015

## Информация об авторах

**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, e-mail: nukmt@bmstu.ru).

**ЗУБКОВ Николай Николаевич** (Москва) — доктор технических наук, профессор кафедры «Инструментальная техника и технологии». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: zoubkovn@bmstu.ru).

## Information about the authors

**LITVINENKO Anatoliy Vasil'evich** (Moscow) — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of «Tool Engineering and Technologies» Department. Bauman Moscow State Technical University (BMSTU, Building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, 105005, Moscow, Russian Federation, e-mail: nukmt@bmstu.ru).

**ZUBKOV Nikolay Nikolaevich** (Moscow) — Dr. Sc. (Eng.), Professor of «Tool Engineering and Technologies» Department. Bauman Moscow State Technical University (BMSTU, Building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, 105005, Moscow, Russian Federation, e-mail: zoubkovn@bmstu.ru).