

УДК 621.9

DOI: 10.30987/1999-8775-2020-11-12-17

М.Ю. Куликов, М.В. Ягодкин, Ю.М. Куликов

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПРОЦЕССА РЕЗЬБОНАРЕЗАНИЯ МЕТЧИКАМИ В ОТВЕРСТИЯХ СВЕРХМАЛЫХ ДИАМЕТРОВ

Повышена надежность процесса нарезания резьбы метчиками в отверстиях сверхмалых диаметров. Выполнен расчет основных показателей надежности процесса резьбонарезания. Сравнительный анализ этих показателей, полученных при обычной технологии и с исследованием нового

способа лезвийной анодно-механической обработки, находят применение последней

**Ключевые слова:** сверхмалый диаметр, надёжность, резьбонарезание, безотказность, интенсивность отказов.

M.Yu. Kulikov, M.V. Yagodkin, Yu.M. Kulikov

## RELIABILITY INCREASE OF THREAD CUTTING WITH TAP BORERS IN SUPER-SMALL HOLES

The purpose of this work consists in the reliability increase of thread cutting with the use of tap borers in super-small holes of aluminum alloy parts.

The investigation methods used are based on classic regulations of the cutting theory, physical-chemical mechanics of materials, reliability theory and methods of statistical analysis.

There are revealed the reasons of thread cutting low reliability and tool failure. The effectiveness of edge anode-machining use at thread cutting is researched. On the basis of data obtained there is carried out a calculation of basic indices of thread cutting reli-

ability. A comparative analysis of the processing reliability indices obtained under standard conditions and with the use of the developed circuit of anode-machining is shown, the effectiveness of the latter use is presented.

As a result of the investigations carried out there is developed a technology for thread cutting in super-small holes that ensures a considerable increase of reliability and allows excluding hand work during the process.

**Key words:** super-small diameter, reliability, thread cutting, failure intensity.

### Введение

В современном машиностроении процесс нарезания резьбы метчиком является сложной технологической операцией. Причинами является заклинивание метчика и его последующая поломка в случае продолжения процесса нарезания [1,2]. Для предотвращения заклинивания используют реверс инструмента с последующим продолжением рабочего хода. Однако, поломка метчиков может происходить и при реверсе, так как при этом величина возникающего крутящего момента может превышать его значения при рабочем ходе [3]. Количество случаев поломки метчиков, возникающих при резьбонарезании, зависит от длины нарезаемой резьбы и доходит на рабочих ходах до 80 %, а при реверсе – до 40 % [4]. Данная проблема усугубляется при нарезке резьбы в отверстиях сверхмалых диаметров ( $\leq M1,4$ ).

На современных промышленных предприятиях эту операцию выполняют вручную высококвалифицированные рабочие несмотря на наличие многооперационных металлорежущих станков. Это объясняется пониженной прочностью инструмента, обусловленной малыми размерами рабочей части метчика, затруднением подвода смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) в зону резания, а также увеличением количества реверсных ходов при обработке одного отверстия. Установлено, что объема стружечных канавок используемого метчика недостаточно для пакетирования образовавшейся стружки при нарезании резьбы сверхмалых диаметров [5]. Это приводит к заклиниванию инструмента и его последующей поломке. Кроме того, при таких размерах метчика сечение среза соизмеримо с радиусом за-

кругления режущих кромок инструмента ( $R \approx 0,01\text{мм}$ ). В этих условиях осуществляется процесс микрорезания, который разделяется на:

- процесс непосредственно резания;
- упругопластическое подминание слоя обрабатываемого материала.

Это приводит к увеличению силы и ужесточению условий резания [6]. Процессы наростообразования ведут к увеличе-

### Способы повышения надежности процесса

Исследование по изысканию способов увеличения надежности процесса разбонарезания в отверстиях сверхмалого диаметра показало бесполезность использования для этих целей смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) и износостойких покрытий, наносимых на режущий инструмент. Стоит отметить, что при нарезании резьбы в отверстиях больших размеров (М8 и более) данные способы показали свою высокую эффективность. Для повышения надёжности разбонарезания в отверстиях малого диаметра предложено применение лезвийной анодно-механической обработки, заключающейся в том, что в момент обработки отверстия подаётся раствор электролита, а на деталь с режущим инструментом подаётся постоянный ток с целью растворения сходящей стружки непосредственно в стружечных канавках метчика [7]. Данный метод является комбинированным видом обработки [8], сочетающим одновременное механическое и электрохимическое воздействие на снимаемый слой обрабатываемого материала. Для этих целей к зоне резания подводится по специальной схеме электрическое поле и подается раствор электролита. В зависимости от поставленных задач один полюс (в нашем случае положительный) подключается к заготовке, второй (отрицательный) подключается к электроду специальной конструкции. В нашем случае он представляет четыре металлических иглы, расположенные под углом ( $\sim 15-20^\circ$ ) относительно оси используемого металла. Напряжение подается по-

нию фактического радиуса закругления режущих кромок метчика и интенсификации упругопластической деформации обрабатываемого слоя. Все эти процессы приводят к резкому увеличению момента резания и поломке режущего инструмента. Для её предотвращения необходимо при нарезке резьбы осуществлять реверс инструмента после каждого его рабочего оборота.

сле того, как состоялось касание заготовки и режущего инструмента.

В результате этого, в процессе механического воздействия происходит отделение стружки от обрабатываемой заготовки и ее последующее анодное растворение под воздействием электрического поля.

Используемая схема обработки предполагает последовательное воздействие на обрабатываемую заготовку, сначала механическое с образованием стружки, затем сразу электрохимическое анодное растворение в среде электролита сходящей стружки непосредственно на рабочих поверхностях инструмента [9]. Такое воздействие приводит к уменьшению объема стружки в стружечных канавках инструмента и отсутствию нароста на вершине режущего клина. Последнее предотвращает увеличение радиуса закругления режущих кромок инструмента. Суммарно это позволяет значительно снизить усилия резания и уменьшить возникающий момент резания.

Таким образом, в процессе нарезания резьбы в отверстиях малых диаметров сначала происходит отделение стружки под влиянием механического воздействия, стружка пакетируется в стружечных канавках и под влиянием подаваемого электролита и электрического тока частично растворяется, изменяясь в объёме, что приводит к её сегментированию и дальнейшему удалению из зоны резания под воздействием СОТС.

**Исследование надежности процесса резьбонарезания**

В данном исследовании была выполнена наработка до отказа по 100 метчиков М1,4×0,3 при обработке резьбовых отверстий стандартным способом и с применением лезвийной анодно-механической обработкой. Испытания проводились на заготовках из алюминиевого сплава АМг6 толщиной 6 мм. Контролировалось количество отверстий, обработанных каждым метчиком, получаемая при этом резьба соответствовала требуемым точностным характеристикам.

На основании методических указаний, описанных в ГОСТ Р МЭК 61124-2016, ГОСТ Р МЭК 60605-6-2007, выполнен расчёт основных показателей надёжности, а также на основании ГОСТ Р МЭК 61650-2007 проведён сравнительный анализ постоянных интенсивностей отказов при стандартных методах обработки и с применением анодно-механической обработки. В табл. 1, 2 показаны результаты проведённых экспериментов и расчёт показателей надёжности.

Таблица 1

Результаты проведённых экспериментов и основные показатели надёжности при нарезании резьбы метчиками М1,4×0,3 стандартным способом

$t_i$	$N$	$r_i$	$T_i$	$n(t)$	$P(t)$	$f(t)$	$\lambda(t)$
1	100	0	100	0	1	0	0
2		0	100	0	1	0	0
3		2	98	2	0,98	0,02	0,020
4		3	95	5	0,95	0,03	0,032
5		5	90	10	0,9	0,05	0,056
6		7	83	17	0,83	0,07	0,084
7		9	74	26	0,74	0,09	0,122
8		10	64	36	0,64	0,10	0,156
9		11	53	47	0,53	0,11	0,208
10		12	41	59	0,41	0,12	0,293
11		13	28	72	0,28	0,13	0,464
$\Sigma$		72	826			0,72	

Таблица 2

Результаты проведённых экспериментов и основные показатели надёжности при нарезании резьбы метчиками М1,4×0,3 с применением анодно-механической обработки

$t_i$	$N$	$r_i$	$T_i$	$n(t)$	$P(t)$	$f(t)$	$\lambda(t)$
1	100	0	100	0	1	0	0
2		0	100	0	1	0	0
3		0	100	0	1	0	0
4		0	100	0	1	0	0
5		0	100	0	1	0	0
6		0	100	0	1	0	0
7		0	100	0	1	0	0
8		1	99	1	0,99	0,01	0,010
9		2	97	3	0,97	0,02	0,021
10		2	95	5	0,95	0,02	0,021
11		3	92	8	0,92	0,03	0,033
12		4	88	12	0,88	0,04	0,046
13		5	83	17	0,83	0,05	0,060
14		6	77	23	0,77	0,06	0,078
$\Sigma$		23	1331			0,08	0,084

Здесь:  $t_i$  – порядковый номер обрабатываемого отверстия;  $N$  – число метчиков в выборке;  $r_i$  – число отказов метчиков на отверстие  $t_i$ ;  $T_i$  – число обработанных отверстий;  $n(t)$  – суммарное число отказавших метчиков к  $t_i$ ;  $P(t)$  – вероятность безотказной работы метчиков;  $f(t)$  – плотность распределения наработки до отказа;  $\lambda(t)$  – интенсивность отказов.

Анализ рис. 1а, на котором изображён график вероятности безотказной работы метчиков показывает, что вероятность безотказной работы метчиков при обработке резьбовых отверстий малых диаметров с применением лезвийной анодно-механической обработкой выше по сравнению со стандартными видами обработки. В свою очередь, гамма - процентный ресурс, установленный в соответствии с рекомендациями ГОСТ Р МЭК 60605-6-2007, равный 87%. При этом, стандартным методом обработки будет нарезано 5 резь-

бовых отверстий, а с применением анодно-механической обработкой 12 резьбовых отверстий. Анализ графиков на рис. 1б,в показывает, что плотность распределения наработки до отказа и интенсивность отказов меньше при использовании анодно-механической обработки по сравнению со стандартными методами обработки. Это свидетельствует о том, что использование лезвийной анодно-механической обработки значительно увеличивает надёжность процесса резьбонарезания метчиками в отверстиях сверхмалых диаметров.

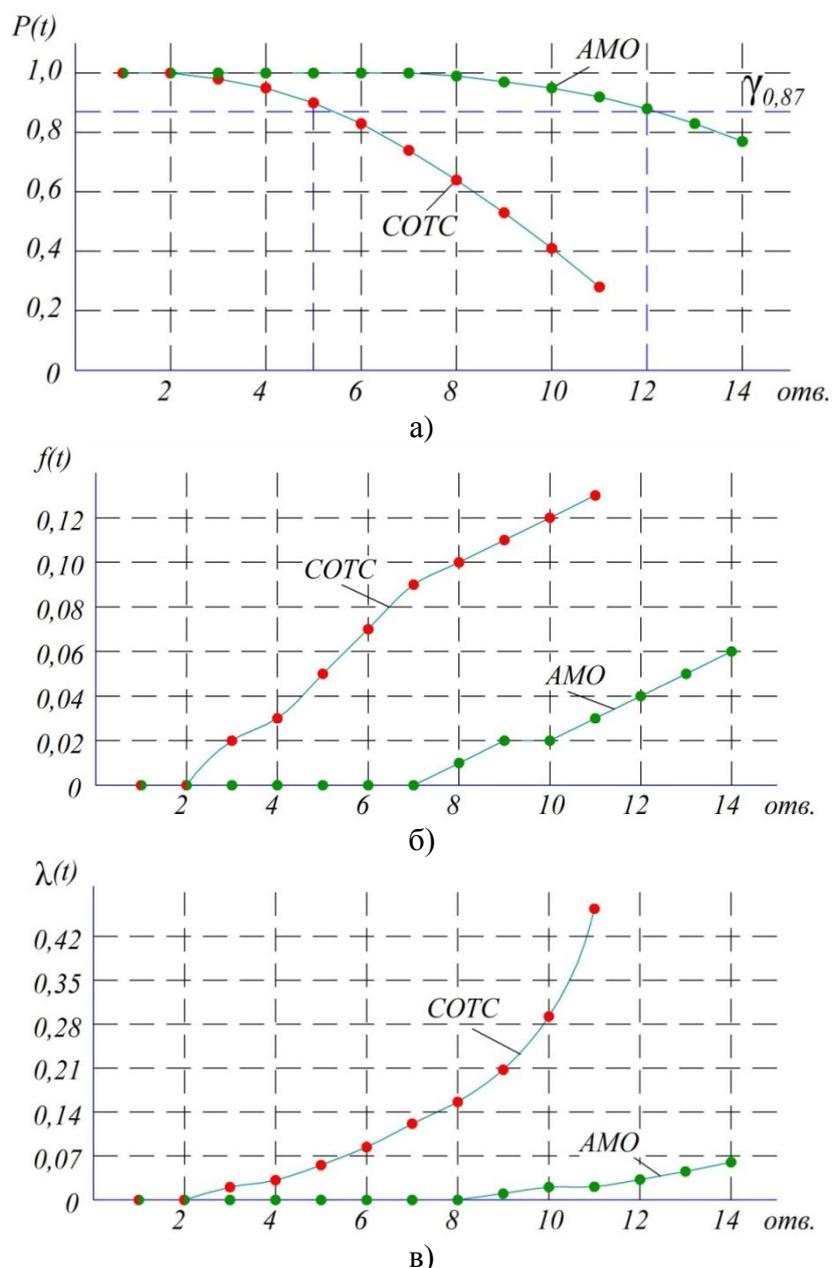


Рис. 1. Графики показателей надёжности: а)  $P(t)$  вероятность безотказной работы метчиков; б)  $f(t)$  – плотность распределения наработки до отказа; в)  $\lambda(t)$  – интенсивность отказов

**Выводы**

Проведённые исследования позволили сделать следующие выводы.

1. Применение метода лезвийной анодно-механической обработки позволило значительно увеличить надёжность процесса резьбонарезания метчиками в отверстиях сверхмалых диаметров ресурс инструмента при обработке резьбовых отверстий малых диаметров, уменьшить чис-

ло отказов и увеличить количество обработанных отверстий единичным метчиком.

2. Обеспечена стабильность изготовления резьбовых отверстий малого диаметра в деталях из алюминиевого сплава в условиях АМО, что позволит перевести обработку на многофункциональные обрабатывающие центры.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Подураев, В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов / В.Н. Подураев. - М.: Высшая школа, 1975. – 590 с.
2. Таратынов, О.В. Анализ факторов, влияющих на надёжность работы метчиков / О.В.Таратынов, О.И. Аверьянов, С.А. Толмачев // СТанки Инструмент. – 1999. – № 8. – 59 с.
3. Блинов, Р.М. Разработка способов удаления стружки при соответствующем управлении её формой с целью повышения надёжности работы метчиков при нарезании резьбы в глухих отверстиях: дис.... канд. техн. наук / Р.М. Блинов. – М, 2005. – 184 с.
4. Евстигнеева, О.Н. Повышение надёжности работы метчиков при нарезании резьб в глухих отверстиях конструкционно-технологическими методами: дис.... канд. техн. наук / О.Н. Евстигнеева. – Москва, 2003. – 136 с.
5. Куликов, М.Ю. Исследования надёжности процесса резьбонарезания в отверстиях сверхмалого диаметра / М.Ю. Куликов, М.В. Ягодкин // Известия Кабардино-Балкарского государственного университета. – 2015. - № 5. – С. 61– 62.
6. Рыкунов, А.Н. Тонкое точение. Металлическая модель, режимные границы, физические особенности и технологические возможности процесса / А.Н. Рыкунов. – Рыбинск: РГАТА, 2003. – 258 с.
7. Куликов, М.Ю. Исследование влияния СОТС и АМО на надёжность процесса резьбонарезания в отверстиях сверхмалого диаметра / М.Ю. Куликов, М.В. Ягодкин, В.Е. Иноземцев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2018. – №4. – С.18-23. - [https://doi.org/10.30987/article\\_5b28d1942d3947.54309251](https://doi.org/10.30987/article_5b28d1942d3947.54309251).
8. Смоленцев, Е.В. Проектирование электрических и комбинированных методов обработки / Е.В. Смоленцев. – М.: Машиностроение, 2005. – 511 с.
9. Газизулин, К.М. Электрохимическая размерная обработка крупногабаритных деталей в пульсирующих рабочих средах / К.М. Газизулин. – Воронеж: ВГУ, 2002. – 243 с.
1. Poduraev, V.N. *Hard-to-Machine Material Cutting* / V.N. Poduraev. – М.: Higher School, 1975. – pp. 590.
2. Taratynov, O.V. Analysis of factors influencing tap borer operation reliability / O.V. Taratynov, O.I. Averiyanov, S.A. Tolmachyov // *Machines & Tool*. – 1999. – No.8. – pp. 59.
3. Blinov, R.M. Development of methods for chips elimination at corresponding control of its form to increase tap borer operation reliability at thread cutting in blind holes: *Thesis for Can. Sc. Tech. degree* / R.M. Blinov. – М, 2005. – pp. 184.
4. Yevstigneeva, O.N. Tap borer operation reliability increase at thread cutting in blind holes by design-technological methods: *Thesis for Can. Sc. Tech. degree* / O.N. Yevstigneeva. – Moscow, 2003. – pp. 136.
5. Kulikov, M.Yu. Reliability investigations of thread cutting in super-small holes / M.Yu. Kulikov, M.V. Yagodkin // *Proceedings of Kabardino-Balkaria State University*. – 2015. – No.5. – pp. 61-62.
6. Rykunov, A.N. *Fine Turning. Metal Model, Mode Limits, Physical Peculiarities and Technological Potentialities of Process* / A.N. Rykunov. – Rybinsk: RSATA, 2003. – pp. 258.
7. Kulikov, M.Yu. Investigations of SOTS and AMO impact upon thread cutting reliability in super-small holes / M.Yu. Kulikov, M.V. Yagodkin, V.E. Inozemtsev // *Bulletin of Bryansk State Technical University*. – 2018. – No.4. – pp. 18-23. [https://doi.org/10.30987/article\\_5b28d1942d3947.54309251](https://doi.org/10.30987/article_5b28d1942d3947.54309251).
8. Smolentsev, E.V. *Design of Electric and Combined Processing Methods* / E.V. Smolentsev. – М.: Mechanical Engineering, 2005. – pp. 511.
9. Gazizulin, K.M. *Large Parts Electro-chemical Dimension Processing in Pulse Working Environment* / K.M. Gazizulin. – Voronezh: VSU, 2002. – pp. 243.

Ссылка цитирования:

Куликов, М.Ю. Повышение надежности процесса резьбонарезания метчиками в отверстиях сверхмалых диаметров / М.Ю. Куликов, М.В. Ягодкин, Ю.М. Куликов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2020. - № 11. – С. 12-17. DOI: 10.30987/1999-8775-2020-11-12-17.

Статья поступила в редакцию 08.05.20.

Рецензент: д.т.н., профессор, проректор по перспективному развитию  
Брянского государственного технического университета

Киричек А.В.,

главный редактор журнала «Вестник БГТУ».

Статья принята к публикации 27.10.20.

#### Сведения об авторах:

**Куликов Михаил Юрьевич**, д.т.н., профессор, вед. научный сотрудник Института конструкторско-технологической информатики (ИКТИ РАН), e-mail: muk.56@mail.ru

**Ягодкин Максим Викторович**, аспирант Института конструкторско-технологической информати-

**Kulikov Michael Yurievich**, Dr. Sc. Tech., Prof., Leading research assistant, Institute of Design-Technological Informatics (IDTI RAS), e-mail: muk.56@mail.ru.

ки (ИКТИРАН), e-mail: yagodkin.maksim.513@mail.ru

**Куликов Юрий Михайлович**, студент Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)), e-mail: kulikov.yurii000@mail.ru

**Yagodkin Maxim Victorovich**, Post graduate student, Institute of Design-Technological Informatics (IDTI RAS), e-mail: yagodkin.maksim.513@mail.ru.

**Kulikov Yury Michailovich**, Student of Russian Institute of Transport (RIT (MIIT)), e-mail: kulikov.yurii000@mail.ru.