

УДК 621.88

DOI: 10.30987/2223-4608-2020-11-3-7

А.Н. Прокофьев, д.т.н.

(ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»,
241035, РФ, г. Брянск, бульвар 50-лет Октября, 7)

E-mail: pan87066@mail.ru

Технологическое обеспечение качества резьбы отдельными методами

Рассмотрены вопросы технологического обеспечения качества наружной и внутренней резьбы. Изложены различные методы формирования наружной и внутренней резьбы. Особое внимание уделено методам деформирования внутренней резьбы. Приведены результаты исследований по электромеханической обработке наружных резьб.

Ключевые слова: резьба; методы обработки; качество.

A.N. Prokofiev, Dr.Sc.Tech.

(FSBEI HV "Bryansk State Technical University",
7, 50 Years of October Boulevard, Bryansk, RF, 241035)

Technological support of thread quality with single methods

The problems in technological support of external and internal thread are considered. There are presented different methods for external and internal thread formation. Particular attention is paid to the methods of internal thread deformation. There are shown investigation results on external thread electro-machining.

Keywords: thread; method of processing; quality.

Резьба является широко распространенным элементом деталей машин и применяется на таких крепежных деталях как винты, болты и гайки. Эти детали находят широкое применение в различных отраслях промышленности и выполняют разнообразные функции. Они могут быть предназначены для осуществления в механизмах точных перемещений; передачи существенных крутящих моментов и осевых усилий; присоединения отдельных деталей и узлов машин и механизмов; создания разнообразных неразъемных соединений в конструкциях и др.

Качество резьбовых соединений существенно зависит от точности соединения, физико-механических параметров поверхности и параметров шероховатости боковых сторон профиля резьбы, которые формируются в процессе изготовления резьбовой поверхности. Получение при изготовлении качественных параметров резьбы зависит от свойств и

вида материала, при этом, существенное влияние оказывают и такие технологические факторы, как схема и метод резьбоформования, конструктивные особенности и геометрия инструмента, а также технологические режимы обработки.

Таким образом, применяемая технология получения на деталях резьбовой поверхности должна стабильно обеспечивать комплекс геометрических параметров резьбы и параметров состояния поверхности, которые в совокупности определяют обеспечение резьбовым соединением своих эксплуатационных показателей, исходя из функционального назначения.

Общей проблемой при получении резьбовых поверхностей считается получение высокой точности (4-й и выше) и параметров качества поверхности витков резьбы ($Ra \leq 2,5$ мкм). Таким образом, проблема обработки точных качественных резьбовых поверхностей тре-

бует разработки новых технологических методов резьбоформирования, новых и усовершенствованных конструкций инструментов, а также технологических режимов обработки различных видов деталей и материалов, требований к параметрам качества резьбы.

Одним из перспективных методов обеспечения качества резьбы является такой метод как отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием (ОУО ППД), используемая по трем схемам для получения наружной резьбы:

- смятие микронеровностей поверхности витков обкатыванием без существенной заметной пластической деформации поверхностных слоев металла витков резьбы;

- обкатывание припуска, оставленного на боковых поверхностях витков;

- обработка обкатыванием заранее полученной резанием резьбы с углом профиля (при вершине) превышающим 60° .

Такая обработка наружной резьбы производится роликами на профиленакатных (2-х и 3-х роликовых резьбонакатных) станках, а также может производиться на другом металлообрабатывающем оборудовании с использованием различных специальных инструментов, и, как правило, не вызывает значительных затруднений.

Для комбинированной обработки внутренних резьб используется аналогичный метод, который заключается в предварительном нарезании резьбовой поверхности и последующим деформированием этой поверхности. Также имеет место использование накатывания с чистовым точением вершин резьбового витка. Данный способ обеспечивает удаление заусенцев с вершин получаемой резьбы, и, тем самым, обеспечивается требуемая высота профиля резьбы с плоской вершиной, что препятствует выкрашиванию зубьев инструмента и его защемлению при обработке резьбы.

Для обработки ППД внутренних резьб находят применение комбинированные метчики (диаметр резьбы до 50 мм), чистовые комбинированные метчики и раскатные резьбовые головки для резьб большого диаметра [1].

Комбинированные метчики являются инструментом, формирующим резьбовой профиль как за счет срезания установленного припуска, так и за счет частичного пластического перераспределения металла витка. Этим достигается высокая точность и упрочнение профиля резьбы в тех случаях, когда использование бесстружечных метчиков не представляется возможным, а именно, в случае обработки материалов недостаточной пластичности, а также при изготовлении резьбы с шагами, превышающими 2,5 мм.

Особенностью работы данных инструментов является то, что движение подачи комбинированного метчика (самозатягивание) осу-

ществляется деформирующей частью инструмента. Вследствие этого, практически отсутствует разбивка по среднему диаметру резьбы, что позволяет получать резьбы 4-й и даже 3-й степени точности с шероховатостью $Ra = 0,5...1,0$ мкм с достаточной надежностью. Из-за упрочняющего воздействия данных комбинированных инструментов глубина упрочненного слоя составляет 0,22...0,3 мм, а степень упрочнения поверхности – 40...50 %.

Комбинированные метчики, как и обычные метчики, используются на сверлильных, токарных, многоцелевых, а также специальных станках. Для установки на станках применяются стандартные резьбонарезные патроны. Технологические режимы при обработке комбинированными метчиками существенно не отличаются от режимов, рекомендованных для бесстружечных метчиков. При обработке алюминиевых сплавов скорости достигают 20...30 м/мин, сталей – 8...10 м/мин. Обработка ведется с применением масляных смазочно-охлаждающих жидкостей.

Одним из важных технологических параметров является выбор диаметра отверстия под обработку комбинированными метчиками, который выбирается в зависимости от пропорции срезаемого и пластически деформируемого объема материала. В большинстве случаев инструмент пластически деформирует незначительный припуск (0,02...0,05 мм). В связи с этим диаметр отверстия назначается, как и при традиционной обработке резьбы резанием.

В тех случаях, когда применяются комбинированные метчики с формированием пластическим деформированием значительного объема материала, необходимо производить корректировку диаметра отверстия под резьбу, определяемую экспериментально.

В настоящее время используется достаточно большое число инструментов для комбинированного получения резьбы (имеющих свои конструктивные особенности). Одним из самых простых конструктивных решений является бесканавочный метчик [2]. По конструкции он представляет собой традиционный метчик-раскатник, оснащенный специальными стружечными канавками. Стружечные канавки таких метчиков изготавливаются на длине, как правило соответствующей двойной длине режущей части; направление канавок противоположно направлению резьбы, угол наклона – $10...15^\circ$. В направлении хвостовика метчика его сердцевина утолщается с уклоном $5...10^\circ$.

Предлагаемая конструкция стружечных канавок позволяет осуществлять отвод стружки в направлении подачи – в предварительно полученное отверстие. Таким образом, областью применения бесканавочных метчиков является обработка резьбы в сквозном от-

верстии. Профиль резьбы детали при обработке данным метчиком получается в основном посредством срезания припуска, так как метчик имеет заборную часть, затылованную традиционно. Стружечная канавка на калибрующей части уменьшается и отсутствует совсем на последних витках. В связи с этим калибрующий участок пластически деформирует неровности профиля резьбы и осуществляет упрочняющее воздействие.

Отдельным положительным эффектом, в связи с тем, что самозатягивание метчика осуществляется его калибрующей частью, является снижение разбивки по среднему диаметру. Восстановление режущих свойств данных метчиков осуществляется переточкой посредством удлинения стружечных канавок. Данные конструкции метчиков рекомендуются при получении резьбовых поверхностей деталей из вязкой и нержавеющей сталей, а также алюминиевых сплавов.

Более совершенные конструкции инструментов были созданы на базе метчиков-раскатников (бесстружечных метчиков) [1, 3]. Имеются конструкции, аналогичные рассмотренному выше бесканавочному метчику. Стружечные канавки такого метчика-раскатника изготавливаются на его заборной части либо параллельно, либо под углом к оси инструмента. Канавки в таком случае могут быть получены на заборном конусе или по всей длине рабочей части.

Следующая конструкция инструмента предполагает оформление стружечных канавок через зуб по всей длине заборного конуса (рис. 1). В данном случае деформирующие зубья чередуются с режущими, при этом вершины деформирующей части находятся выше вершин режущей части, что осуществляется при заточке инструмента. Управлением положением вершин можно достигать различное соотношение деформируемой и срезаемой частью припуска, что необходимо для обработки резьбовых деталей из материалов с различными свойствами. Заборный конус инструмента снабжен конической резьбой. К недостаткам конструкции следует отнести достаточно высокий крутящий момент, который обусловлен профильной схемой резания заборного конуса комбинированного инструмента.

Комбинированный метчик следующей конструкции выполнен на базе метчика-раскатника и оснащен рабочими перьями различного среднего диаметра. На заборном конусе имеется затылованная по вершине цилиндрическая резьба. Стружечные канавки прорезаются на перьях с меньшим диаметром. Деформирующие элементы на конусе при этом ниже, по сравнению с режущими. Данная конструкция инструмента, при относительно небольших усилиях обработки, обеспечивает среза-

ние припуска по традиционной для метчика схеме. Однако является нетехнологичной и весьма сложной, несмотря на достаточно хорошие эксплуатационные показатели.

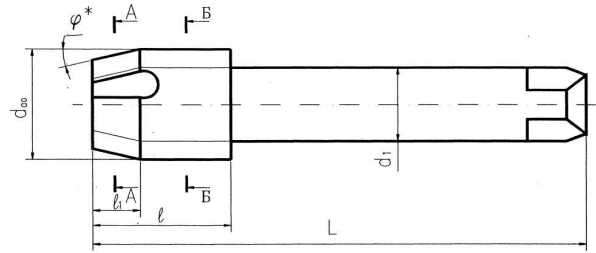


Рис. 1. Бесканавочный метчик

Значительное применение на многоцелевых станках с ЧПУ и универсальном оборудовании находят конструкции комплектных комбинированных метчиков из двух штук (первый – режущий, второй – режуще-деформирующий) и технологии обработки ими резьбовых поверхностей диаметром 24...60 мм (шаг более 3 мм) в материалах средней и низкой пластичности.

Число пар режущих и деформирующих зубьев рекомендуется назначать равным трем для диаметров резьбы до М32 и четырем – для резьб большего диаметра. Комбинированные метчики необходимо изготавливать с величиной обратной конусности по среднему диаметру (0,05...0,1 мм на 100 мм длины) с целью уменьшения трения.

В связи с тем, что конструкции рассматриваемого инструмента, как правило, позволяют варьировать соотношением срезаемого и деформируемого объемов металла, то для таких конструкций значительно меньше ограничений как по обрабатываемому материалу, так и по типоразмеру резьбы. Таким образом, использование комбинированных метчиков позволяет получать упрочненную резьбу и в чугуне с шагом резьбы $P = 5$ мм и более.

Установление припуска на обработку при изготовлении внутренней резьбы комбинированными метчиками осуществляется с учетом следующих факторов:

- с целью перекрытия погрешности (разбивки) предшествующей обработки, величина припуска должна быть достаточной для этого;
- с целью предотвращения заклинивания инструмента и его поломки, величина припуска не должна быть чрезмерно большой.

$$Z = K \cdot P^{0,41}, \quad (1)$$

где K – коэффициент, зависящий от степени точности резьбы; P – шаг обрабатываемой резьбы.

Рассчитанные по формуле (1) величины припуска представлены в табл. 1.

Данные конструкции комбинированных метчиков предполагают восстановление своих свойств посредством переточки, в связи с этим суммарная стойкость соизмеряема со

стойкостью режущих метчиков традиционных конструкций. Комбинированные метчики имеют и еще одно существенное преимущество – при их использовании крутящие моменты практически в 2 раза ниже крутящих моментов при использовании метчиков-раскатников.

1. Рекомендуемые величины припуска для комбинированной обработки

Интервал диаметра резьбы, мм	Шаг резьбы P , мм	Припуск на комбинированную обработку			
		K	Z	K_{max}	Z_{max}
24...60	2,0	0,095	0,125	0,1274	0,170
24...60	3,0		0,150		0,200
36...60	4,0		0,165		0,225
45...60	5,0		0,185		0,245

Для подвижных резьбовых деталей с крупным шагом весьма эффективным способом упрочнения является электромеханическая обработка (ЭМО) резьбы [1], позволяющая получить необходимые физико-механические и геометрические параметры качества.

Кроме силового воздействия, присущего большинству методов упрочнения резьбы, данный процесс предполагает протекание тока через зону контакта. При прохождении тока большой силы происходит интенсивный разогрев поверхности детали, что в значительной степени позволяет снизить силы, которые необходимо приложить к индентору. Реализуемый механизм упрочнения связан как с наклепом, так и с закалкой. С использованием такой схемы обработки можно достичь значительной глубины упрочненного слоя – при небольших усилиях при обработке добиваются нескольких миллиметров. Например, при обработке резьбы М32×2 с режимами: сила тока $I = 4200$ А, усилием $P = 100$ Н на винте из стали 9ХС была получена глубина упрочненного слоя более 1 мм. По сравнению с сердцевинной микротвердость выросла почти в 4 раза.

Одним из недостатков электромеханической обработки является появление пятнистости упрочненной поверхности: наблюдается чередование участков высокой твердости и участков, твердость которых значительно ниже. Резьбы, полученные с помощью электромеханической обработки, достаточно хорошо работают в условиях трения при статических нагрузках. Однако наличие участков различной твердости является концентратором напряжений, что может провоцировать начало появления микротрещин. Этот факт не позволяет однозначно оценивать положительное влияние эффективности ЭМО на усталостную прочность резьбовой детали.

Для резьбы электромеханическую обработку осуществляют по двум схемам: обкаты-

вание роликами и выглаживание твердосплавными пластинами. Более грубой обработкой является выглаживание твердосплавными пластинами. При данной схеме в зоне обработки могут быть созданы остаточные растягивающие напряжения, кроме этого, отмечается невысокая стойкость инструмента. Более высокую степень упрочнения и качество поверхности получают при накатывании роликами.

Наиболее часто в качестве материала ролика используется твердый сплав или бронза. В рассматриваемом варианте изолированная от станка головка с роликом устанавливается в резцедержателе токарного станка. Общий вид головки представлен на рис. 2. В корпус 1 головки установлены бронзовые втулки 4 (2 штуки), в их отверстиях установлены ось 3 с роликом 2 из бронзы БрОЦС5-6-5. С помощью электронного блока осуществляется управление режимом обработки. С помощью системы охлаждения станка осуществляется подача смазывающе-охлаждающей жидкости в зону обработки.

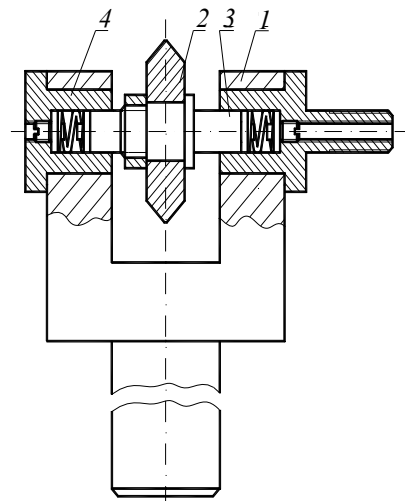


Рис. 2. Головка для ЭМО винтовых поверхностей

При использовании данной головки для обработки винтовых поверхностей ходовых винтов получают значения параметров микротвердости и шероховатости поверхности после обработки, рассчитываемые по формулам [1]:

$$H_{\mu_0} = 640 \frac{P^{0,03} \cdot I^{0,1}}{i^{0,14}}; \tag{2}$$

$$Ra = \frac{7,3}{P^{0,2} \cdot I^{1,5} \cdot i^{0,3}}; \tag{3}$$

где P_n – нормальная сила, Н; I – сила тока, кА; i – число рабочих ходов, ход.

Комбинированное одновременное воздействие нагрева и пластической деформации на поверхностные слои обрабатываемого металла оказывает благоприятное воздействие в разрезе упрочнения рабочих поверхностей ходовых винтов. Наблюдается повышение в 2 – 5 раз их износостойкости в зависимости от ма-

териала и режима обработки по сравнению с неупрочненными винтами, точность предварительно обработанных винтовых поверхностей при этом не снижается.

В последнее время широкое применение в промышленности, благодаря своим уникальным свойствам, находят композиционные материалы. Данный вид материалов эффективно конкурирует с традиционными конструкционными материалами – сталь, титан, алюминий и др.

Специфика композиционных материалов, как объекта обработки резанием, особенности их структуры и свойств выделяет их в особую группу труднообрабатываемых материалов, характеризующуюся особыми условиями протекания процесса обработки. Отдельную группу композитов представляют углерод-углеродные композиционные материалы (УУКМ), предназначенные для теплонагруженных деталей. При обработке материалов данной группы возникает ряд проблем: наблюдается анизотропия свойств материала, которая обусловлена разрушением структуры материала, наблюдающаяся в виде трещин и мелких частиц в месте реза; высокие прочностные характеристики материала и недостаточная изученность затрудняют оптимизацию процесса резания; высокая твердость и абразивные свойства элементной стружки, а также интенсивные контактные явления на задней поверхности реза вызывают повышенный износ инструмента. Все это в полной степени относится и к получению резьбы на деталях из данного материала (рис. 3).

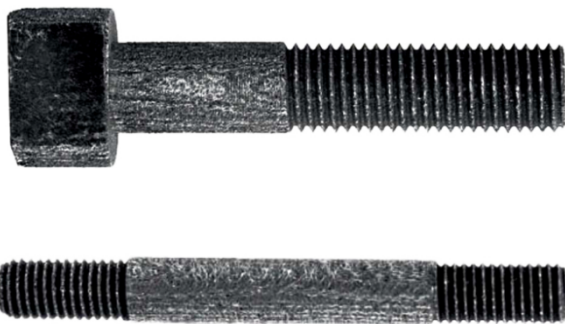


Рис. 3. Крепежные изделия из УУКМ марки SIGRABOND

Были проведены экспериментальные исследования [4] по технологическому обеспечению качества наружной резьбы посредством использования инструментов фирм-производителей SANDVIK и ISCAR, подбор инструментального материала, вида режущих пластин и технологических режимов. Производилась оценка точности и качества поверхности резьбы (рис. 4) традиционными способами: резьбовым микрометром и USB профилографом-профилометром «БВ-7769М», а также исследования по микроструктуре материала на цифровом микроскопе DigiMicro LCD с увеличениями 100, 200 и 400.

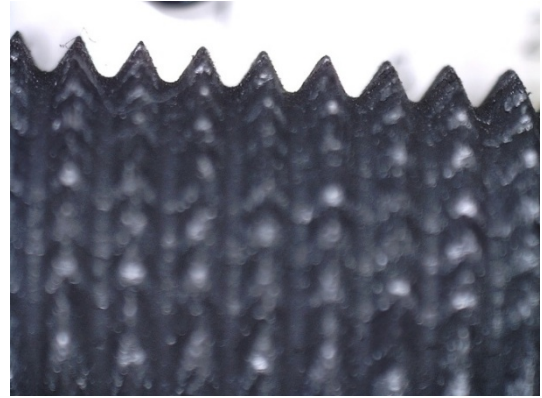


Рис. 4. Профиль резьбы после обработки (×10)

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

- для материала типа УУКМ рекомендован метод нарезания резьбы, позволяющий выполнять требования по точности и качеству поверхности резьбы;

- при использовании режущих пластин различных фирм-производителей, рекомендуемых для нарезания резьбы в деталях из закаленных материалов, уменьшив рекомендованную скорость резания на 50 %, можно добиться точной и качественной поверхности наружной резьбы на обрабатываемых деталях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Суслов, А.Г. Технология и инструменты отделочно-упрочняющей обработки деталей поверхностным пластическим деформированием: справочник. В 2-х томах. Т.2 / под ред. А.Г. Суслова [и др.]. – М.: Машиностроение, 2014. – 444 с.
2. Рыжов, Э.В. Раскатывание резьб. / Э.В. Рыжов, О.С. Андрейчиков, А.Е. Шешков. – М.: Машиностроение, 1974. – 122 с.
3. Шешков, А.Е., Прокофьев, А.Н. Технологическое обеспечение качества резьбовых соединений // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2012. – № 9(15). – С. 14-15.
4. Прокофьев, А.Н. Технологическое обеспечение качества наружных резьб на деталях из материала «SIGRABOND» / А.Н. Прокофьев, А.В. Булаев, М.А. Зайцев // Материалы международной научно-технической конференции «Обеспечение и повышение качества изделий машиностроения и авиакосмической техники» – Брянск: БГТУ, 2020. – С. 276-280.

REFERENCES

1. Suslov, A.G. *Technology and Tools of Parts Finish-Strengthening with Surface Plastic Deformation: reference book*. In 2 Vol. Vol. 2. / under the editorship of A.G. Suslov [et al.]. – M.: Mechanical Engineering, 2014. – 444 pp.
2. Ryzhov, E.V. *Thread Rolling* / E.V. Ryzhov, O.S. Andreychikov, A.E. Steshkov. – M.: Mechanical Engineering, 1974. – 122 pp.
3. Steshkov, A.E. Prokofiev, A.N. Technological support of threaded joint quality // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. 2012. – No.9 (15). – pp. 14-15.
4. Prokofiev, A.N. Technological support of quality in external thread on parts made of “SIGRABOND” material / A.N. Prokofiev, A.V. Bulaev, M.A. Zaitsev // *Proceedings of the Inter. Scientif.-Tech. Conf. “Quality Increase and Support in Engineering Products of Aerospace Equipment”* – Bryansk: BSTU, 2020. – pp. 276-280.

Рецензент д.т.н. А.В. Хандожко