

УДК 621.9

Расулов Н.М., д-р техн. наук; Дамирова Г.В.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАМЕТРА СТЕРЖНЕЙ ПОД НАКАТЫВАНИЕ РЕЗЬБЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА

Введение. Работа посвящена вопросам повышения эффективности процесса накатывания резьб на основе рационального использования технологических возможностей оборудования, применяемого при формировании подрезьбовой гладкой поверхности и резьбы. Представлена методика определения диаметра подрезьбовой гладкой поверхности с учетом технологических возможностей оборудования, применяемого в производственных условиях. При этом использованы методы математической статистики. Представлен результат испытания апробируемой методики при определении диаметра цилиндрических стержней под накатывание резьб на шпильках М16, М24 и М27.

Постановка задачи. Резьбонакатывание является прогрессивным методом и широко применяется для формирования резьб на деталях различного назначения. Накатывание резьб, будучи безотходной технологией обработки, обеспечивает высокую производительность; сформированные резьбы обладают высоким эксплуатационным показателем по сравнению с их нарезанием, обеспечивают экономию материала. Процесс экономически выгоден [1-4]. Повышение эффективности любой технологической операции является неизменной задачей технологии машиностроения. Одной из технологических задач, гарантирующей эффективность процесса накатывания резьбы, является определение оптимального диаметра гладкой подрезьбовой поверхности заготовки. Эта задача комплексная и должна быть решена с учетом эффективности наладок технологических систем как при обработке гладкой поверхности, так и при резьбонакатывании. При этом важное значение имеет полное использование технологических возможностей применяемого оборудования, а также поля допуска на подрезьбовый поверхности, выделенные для износа режущего инструмента.

В производственных условиях диаметр заготовки принимается обычно из технической документации резьбонакатного оборудования или выбирается из соответствующих справочников и стандартов [2-5]. Однако опыт машиностроительных заводов показывает, что при таком подходе к решению задачи не учитываются технологические возможности конкретных технологических систем при формировании подрезьбовой поверхности и резьбы, особенности материала детали несущей резьбы, в результате чего не обеспечивается эффективность производственного процесса [1-4].

Различаются две методики определения диаметра заготовки:

1. Определение диаметра заготовки, основанное на постоянстве объема (массы) материала до и после накатывания резьбы [2-5]. При этом не учитывается влияние погрешностей шага и угла профиля резьбы на ее средний диаметр. Кроме того, известно, что иногда имеют место и продольные деформации на подрезьбовых поверхностных слоях, хотя они имеют небольшие значения. Не учитывается влияние вышеперечисленных факторов на диаметр заготовки, а также часть допуска среднего диаметра резьбы, выделенная соответствующими стандартами на погрешности формы (отклонение от цилиндричности);

2. Диаметр заготовки определяется по результатам экспериментов, проведенных на оборудовании, предназначенном для обработки подрезьбовой поверхности и накатки резьбы с применением методов математической статистики [6-9]. Метод обеспечивает относительно высокую эффективность. Однако и он обладает рядом недостатков:

© Н.М. Расулов, 2017

– погрешности шага и угла профиля резьбы представлены отдельно от среднего диаметра резьбы. Тогда как выявление и учет подобных погрешностей в производственных условиях является довольно сложной задачей;

– подобно первому случаю, при определении диаметра заготовки не учтен допуск на погрешность формы резьбы, включенный в допуск среднего диаметра резьбы.

Таким образом, задача совершенствования методики определения оптимального диаметра заготовки, обеспечивающая комплексную эффективность резьбоформирования, является актуальной.

Целью настоящей работы является разработка методики определения оптимального диаметра подрезьбовой поверхности с учетом особенностей производственных условий.

Решение задачи. При решении задачи за основу принимаются следующие принципы резьбонакатывания и теории вероятности:

– между диаметром заготовки и средним диаметром резьбы – основным критерием точности накатанных резьб – действует корреляционная связь;

– состояние и технологические возможности оборудования, применяемого при формировании подрезьбовой гладкой и резьбовой поверхностей, учитывают среднеквадратичные отклонения размеров, обеспечиваемые при обработке;

– согласно положениям теории вероятности принимается, что центр распределения размеров ограниченного количества выборок совпадает с центром распределения всех деталей [10,11];

– допуск на отклонение формы резьбы включен в допуск среднего диаметра резьбы согласно соответствующему стандарту по резьбам (например, метрическая резьба) и составляет 25 % [12].

Для определения оптимального размера заготовки, прежде всего, выбирается номинальный размер и допуск гладкой подрезьбовой поверхности, используя справочники или технические документы резьбонакатного оборудования. Принимается 75% предложенного допуска, сохраняя при этом центр распределение размера. Этим доводится до нуля вероятность риска получения негодных накатанных резьб. Поэтому методика может быть напрямую применена при серийном изготовлении деталей с накатываемой резьбой и позволяет сэкономить время достижения эффективности резьбоформирования, сократить дополнительные затраты.

Необходимо отметить, что отличительной особенностью наладки технологической системы при резьбонакатывании является отсутствие доли допуска на износ формирующего инструмента по сравнению с резьбонарезанием.

Оптимальность размера заготовки опирается на обеспечение следующих условий при резьбонакатывании:

– полное использование технологических возможностей обеих технологических систем (обработка подрезьбовой поверхности, накатывание резьбы);

– соответствие предельных размеров заготовки и допустимых предельных размеров среднего диаметра накатанных резьб, т.е. обеспечение их увязки;

– обеспечение экономически выгодного размера наладки при обработке подрезьбовой поверхности с учетом размерного износа инструмента.

Определение диаметра заготовки. В производственных условиях при единой наладке технологической системы обрабатываются подрезьбовые поверхности партии заготовок по принципу серийности, принятой на предприятии.

Количество деталей в партии рекомендуется брать больше 50. При ограниченных возможностях производственного процесса можно использовать и ограниченное количество заготовок [8,10-11]. Измеряется размер каждой заготовки примерно в одном и том же их сечении, близком к торцу. Заготовки номеруются. Накатываются резьбы на всех заготовках со случайной последовательностью. Измеряются средние диаметры накатанных резьб. Согласно результатам измерений определяется корреляционная связь между диаметром заготовки и средним диаметром резьбы.

Строится эмпирическая кривая распределения; определяется среднеквадратичное отклонение, обеспечиваемое технологическими системами; осуществляется их сглаживание (в налаженных производствах подобные сведения имеются на базе данных каждого оборудования).

Диаметр заготовки определяется на основе размерных связей между размерами подрезьбовой поверхности и средним диаметром накатанных резьб (см. рис.). На рисунке зависимость 1 выражает кривую распределения диаметра заготовки, а зависимость 2 - кривую распределения среднего диаметра накатанных резьб. Согласно данным многочисленных исследований, обе кривые подчиняются нормальному закону распределения. Корреляционная связь между диаметром заготовки и средним диаметром резьбы определяется разницей координат центров группирования их кривых распределения:

$$A = a_s - a_p, \quad (1)$$

где a_p – координата центра группирования среднего диаметра накатанных резьб; a_s – координата центра группирования диаметра подрезьбовой поверхности.

Как и ожидается, средние диаметры накатанных резьб распределяются сравнительно в узком диапазоне внутри предельных размеров, предусмотренных чертежом, так как предварительный допуск на размер заготовки составлял $\frac{3}{4}$ части предложенного.

Таким образом, необходимо достичь увязки фактических предельных значений среднего диаметра накатанных резьб с предельно допустимыми их значениями.

На основе анализа схемы, представленной на рисунке, легко убедиться в том, что для обеспечения намеченной задачи необходимо смещать левую половину кривой распределения среднего диаметра резьбы 2 влево, на величину

$$l_1 = a_p - 3\sigma - d_{2min}, \quad (2)$$

а ее правую половину вправо на величину

$$l_2 = d_{2max} - T_\phi - 3\sigma - a_p = d_{2max} - mT_{d2} - 3\sigma - a_p, \quad (3)$$

где d_{2min} и d_{2max} – наименьший и наибольший допустимые средние диаметры резьбы; σ – среднеквадратическое отклонение среднего диаметра накатанных резьб; T_{d2} – допуск среднего диаметра резьбы; T_ϕ – допуск по среднему диаметру на отклонение формы резьбы; m – коэффициент, учитывающий долю допуска отклонения формы в допуске среднего диаметра резьбы.

Необходимо смещать нижний предел фактического среднего диаметра накатанных резьб влево, на величину l_1 , а его верхний предел – вправо, на величину l_2 .

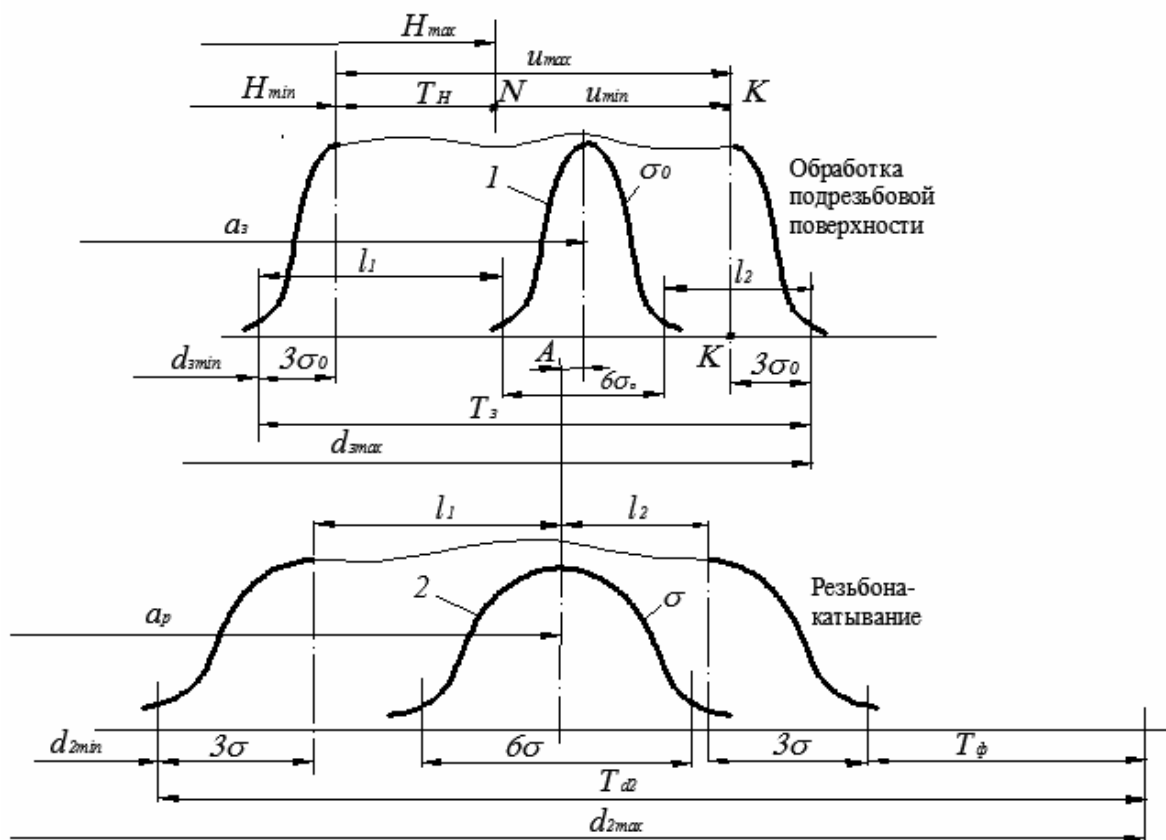


Рис. Схема размерных связей между накатыванием резьб и обработкой подрезбовой поверхности

Для обеспечения подобного смещения достаточно сместить предельные размеры гладкой подрезбовой поверхности соответственно, используя при этом корреляционные связи A между средним диаметром резьбы и диаметром заготовки.

Размер заготовки определяется с использованием размерных связей заготовка-деталь. Согласно схемы (см. рис.), наименьший диаметр заготовки равен:

$$d_{3min} = a_3 - l_1 - 3\sigma_0, \quad (4)$$

а ее наибольший диаметр

$$d_{3max} = a_3 + l_2 + 3\sigma_0, \quad (5)$$

где σ_0 – среднеквадратическое отклонение диаметра заготовки.

С учетом связей (1), (2), (3) в выражениях (4) и (5) получим:

$$d_{3min} = d_{2min} + A + 3\sigma - 3\sigma_0, \quad (6)$$

$$d_{3max} = d_{2max} + A - 3\sigma + 3\sigma_0 - mT_{d2}. \quad (7)$$

Тогда допуск диаметра заготовки определяется формулой:

$$T_{3p} = d_{3max} - d_{3min} = T_{d2} - mT_{d2} + 6(\sigma_0 - \sigma) = (1 - m)T_{d2} + 6(\sigma_0 - \sigma), \quad (8)$$

где T_H – допуск наладки технологической системы; U_{min} – минимально допустимый износ режущего инструмента, обеспечивающий эффективности обработки.

На рисунке представлены наименьший размер наладки H_{min} (точка M) и мо-

мент снятия инструмента из механической обработки из-за его износа (точка К) или же его подналадки.

Формулы (6), (7) и (8) предлагаются для определения размера заготовки в конкретных условиях обработки.

Сравнительное испытание на производстве. На машиностроительных предприятиях осуществляются накатывания резьб на различных типоразмерах шпилек: М16-6gx55, М24-6gx150 и М27-6gx75 задвижек типа СКЗ. Для этой цели применяются стержни с гладкой поверхностью под накатывания резьб с размерами $\varnothing 14,66_{-0,10}$, $\varnothing 22,00_{-0,13}$ и $\varnothing 25,00_{-0,13}$ соответственно (табл.).

Для апробирования представленной выше методики, из серийно изготовленных на заводе при единых наладках технологических систем партий стержней сделаны случайные выборки в среднем 60 шт. Материалом всех шпилек была сталь ст.35. Измерены размеры всех стержней и осуществлена их маркировка. Затем на двухроликном профиленакатном станке (мод. А2528) накатаны резьбы на стержнях согласно заводской технологии. Измерены средние диаметры резьб всех накатанных образцов с точностью 0,001 мм. По результатам измерений осуществлена математическая обработка статистических данных. Определены корреляционные связи *A* между диаметрами заготовки и средними диаметрами накатанных резьб для указанных типоразмеров (табл.). Выявлены фактические предельные размеры средних диаметров накатанных резьб. Определены технологические запасы средних диаметров резьб, на основе разницы предельно допустимых и фактических средних диаметров резьб.

Таблица

Основные показатели исследуемых объектов. Сведения о накатываемых резьбах

№ п/п	Шпилька	ГОСТ резьбы	Средний диаметр резьбы по ГОСТу, мм	Диаметр стержней под накатывание резьбы (завод.), мм	Корреляционная связь, А, мм	Диаметр стержней под накатывание резьбы (предложен.), мм
1	М16-6gx55	22034-76	$\varnothing 14,701_{-0,198}^{-0,038}$	$\varnothing 14,66_{-0,10}$	0,036	$\varnothing 14,665_{-0,130}$
2	М24-6gx150	9066-75	$\varnothing 22,051_{-0,248}^{-0,048}$	$\varnothing 22,00_{-0,13}$	0,033	$\varnothing 22,00_{-0,170}$
3	М27-6gx75	22034-76	$\varnothing 25,051_{-0,248}^{-0,048}$	$\varnothing 25,00_{-0,13}$	0,040	$\varnothing 25,00_{-0,170}$

Определены допуски на диаметры гладких цилиндрических поверхностей стержней под накатывания резьб.

Были изготовлены стержни с расширенными допусками на их гладкие поверхности согласно размерам, определенным по разработанной методике: $\varnothing 14,665_{-0,13}$, $\varnothing 22,00_{-0,17}$ и $\varnothing 25,00_{-0,17}$ соответственно.

Проверены действительные размеры гладких поверхностей и выявлены предельные размеры каждого типоразмера образцов. Накатаны резьбы на образцах. Точность накатанных резьб контролировалась с помощью предельных резьбовых калибров колец, а также измерены средние и наружные диаметры резьб всех образцов с точностью 0,001 мм.

Все серийно изготовленные шпильки, резьбы которых накатаны на гладких подрезьбовых поверхностях с расширенными допусками, удовлетворяли всем требованиям, предъявляемым к ним по чертежу, и приняты ОТК предприятия для сборки задвижек соответствующего типоразмера СКЗ. Диапазоны изменения средних диаметров

резьб составили в среднем 96,5 % предназначенного допуска.

Применение представленной методики обуславливает расширение допуска на гладкой подрезьбовой поверхности примерно на 30 %. Экономический эффект от ее применения достигается за счет увеличения степени допустимого износа инструмента, образующего гладкую подрезьбовую поверхность в период его работы между двумя последовательными наладками технологической системы.

В результате чего:

– уменьшается количество наладок технологической системы при изготовлении определенного количества стержней;

– упрощается процесс наладки технологической системы за счет расширения допуска на размер наладки, принимаемого равным определенной части допуска на размер обрабатываемой поверхности.

– при малом объеме изготовления шпилек можно расширить допуск на гладкой подрезьбовой поверхности за счет уменьшения допуска на износ режущего инструмента гладкой формирующей поверхности.

Предложенные диаметры стержней под накатывания резьб указанных типоразмеров приняты для применения при серийном изготовлении шпилек.

Выводы. Применяемые на практике методики определения диаметра подрезьбовой поверхности при накатывании резьб не обеспечивают эффективности процесса, так как они не учитывают особенностей конкретных условий формирования резьб.

Представлена методика определения диаметра гладкой поверхности под накатывание резьб с применением методов математической статистики, позволяющая учитывать особенность конкретных условий формирования подрезьбовой гладкой поверхности и резьбы.

Применение разработанной методики при накатывании резьбы на шпильках М16-6gx55, М24-6gx150 и М27-6gx75 задвижек нефтепромыслового назначения позволила расширить допуск размера заготовки примерно на 30 %, по сравнению с принятой на производстве, соответственно обеспечив повышение эффективности процесса резьбонакатывания.

Литература: 1. Афонин А.Н. Повышение эффективности накатывания резьб: дис. ...доктора техн. наук: 05.02.07 / Афонин Андрей Николаевич.– Орел, 2010.– 34 с. 2. Киричек А.В. Резьбонакатывание: Библиотека технолога / А.В. Киричек, А.Н. Афонин.– М.: Машиностроение, 2009.–312 с. 3. Миропольский Ю.А. Накатывание резьб и профилей / Ю.А. Миропольский, Э.П. Луговой. – М.: Машиностроение, 1976.– 175 с. 4. Накатывание резьб, червяков, шлицев и зубьев / Лапин В.В., Писаревский М.И., Самсонов В.В. и др. – Л.: Машиностроение. Ленинград. Отд-ние, 1986.– 228 с. 5. Диаметры стержней под накатывание резьбы метрической по ГОСТ 9150-81: ОСТ 141505-84, 8 с. 6. Расулов Н.М. Использование вероятностно-статистического метода при определении диаметра заготовки под накатывание резьбы / Н.М. Расулов. // Вестник машиностроения.– 1999.– № 4.– с. 36-38. 7. Dəmirova G.V. İkidiyircəkli profildiyirləyən dəzgahda diyirlənmiş profillərin dəqiqlik məsələləri: материалы Международной научно – технической конференции «Интеллектуальные технологии в машиностроении».– Баку, 2016. – с. 231-234. 8. Rəsulov N.M., Dəmirova G.V. İkidiyircəkli profildiyirləyən dəzgahda yivdiyirlətmədə pəstahın yivəlti səthinin ölçülərinin təyini. Maşınşünaslıq, Bakı, 2016 №1, s. 25-29. 9. Rəsulov N.M., Dəmirova G.V. İkidiyircəkli profildiyirləyən dəzgahda diyirlənən yivlərin forma dəqiqliyinin yüksəldilməsi. Современные проблемы отношений университетов с промышленностью в Болонской образовательной системе: Материалы международного симпозиума.– Гяндже, 2016.– с. 194-197. 10. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: учебное пособие [5-е изд. стер.] / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров.– М.: КноРус, 2010.– 480 с. 11. Смирнов Н.В. Курс теории вероятностей и математиче-

ской статистики для механических приложений / Н.В. Смирнов, И.В. Дунин-Барковский.– М.: Машиностроение, 1969.– 512 с. **12.** Основные нормы взаимозаменяемости. Метрические резьбы. Допуски и посадки с зазором: ГОСТ 16093-2004.– М.: Стандартинформ, 2005.– 39 с.

Bibliography (transliterated): **1.** Afonin A.N. Povyshenie ehffektivnosti nakatyvaniya rez'b: dis. ...doktora tekhn. nauk: 05.02.07 / Afonin Andrej Nikolaevich.– Orel, 2010.– 34 s. **2.** Kirichek A.V. Rez'bonakatyvanie: Biblioteka tekhnologa / A.V. Kirichek, A.N. Afonin.– М.: Mashinostroenie, 2009.– 312 s. **3.** Miropol'skij YU.A. Nakatyvanie rez'b i profilej / YU.A. Miropol'skij, EH.P. Lugovoj. – М.: Mashinostroenie, 1976.– 175 s. **4.** Nakatyvanie rez'b, chervyakov, shlicev i zub'ev / Lapin V.V., Pisarevskij M.I., Samsonov V.V. i dr. – L.: Mashinostroenie. Leningrad. Otd-nie, 1986.– 228 s. **5.** Diametry sterzhnej pod nakatyvanie rez'by metricheskoj po GOST 9150-81: OST 141505-84, 8 s. **6.** Rasulov N.M. Ispol'zovanie veroyatnostno-statisticheskogo metoda pri opredelenii diametra zagotovki pod nakatyvanie rez'by / N.M. Rasulov. // Vestnik mashinostroeniya.– 1999.– № 4.– s. 36-38. **7.** Dəmirova G.V. İkidiyircəkli profildiyirləyən dəzğahda diyirlənmiş profillərin dəqiqlik məsələləri: materialy Mezhdunarodnoj nauchno – tekhnicheskoy konferencii «Intellectual'nye tekhnologii v mashinostroenii».– Baku, 2016. – s. 231-234. **8.** Rəsulov N.M., Dəmirova G.V. İkidiyircəkli profildiyirləyən dəzğahda yivdiyirləmədə pəstahin yivalti səthinin ölçülərinin təyini. Maşınşünəşliq, Bakı, 2016 №1, s. 25-29. **9.** Rəsulov N.M., Dəmirova G.V. İkidiyircəkli profildiyirləyən dəzğahda diyirlənən yivlərin forma dəqiqliyinin yüksəldilməsi. Sovremennye problemy otnoshenij universitetov s promyshlennost'yu v Bolonskoj obrazovatel'noj sisteme: Materialy mezhdunarodnogo simpoziuma.– Gyandzhe, 2016.– с. 194-197. **10.** Ventcel' E.S. Teoriya veroyatnostej i ee inzhenernye prilozheniya: uchebnoe posobie [5-e izd. ster.] / E.S. Ventcel', L.A. Ovcharov.– М.: KnoRus, 2010.– 480 s. **11.** Smirnov N.V. Kurs teorii veroyatnostej i matematicheskoy statistiki dlya mekhanicheskikh prilozhenij / N.V. Smirnov, I.V. Dunin-Barkovskij.– М.: Mashinostroenie, 1969.– 512 s. **12.** Osnovnye normy vzaimozamenyaemosti. Metricheskie rez'by. Dopuski i posadki s zazorom: GOST 16093-2004.– М.: Standartinform, 2005.– 39 s.

Расулов Н.М., Дамирова Г.В.

ВИЗНАЧЕННЯ ДІАМЕТРУ СТРИЖНІВ ПІД НАКОЧУВАННЯ РІЗЬБИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЙМОВІРНОСНО-СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДІВ

Робота присвячена питанням підвищення ефективності процесу накочування різьби на основі раціонального використання технологічних можливостей устаткування, яке застосовується при формуванні підрезьбової гладкої поверхні і різьблення. Представлена методика визначення діаметра підрезьбової гладкої поверхні з урахуванням технологічних можливостей устаткування, яке застосовується на виробничих підприємствах. При цьому застосовані методи математичної статистики. Представлено результат випробування апробованої методики визначення діаметра циліндричних стрижнів під накочування різьби на прикладі накочення різьб на шпильках М16, М24 і М27.

N. Rasulov, G. Damirova

DETERMINATION OF DIAMETER OF RODS UNDER ROLLING THE THREAD WITH APPLICATION OF PROBABILITY-STATISTICAL METHOD

The work is devoted to the issues of increasing the efficiency of the thread rolling process based on the rational use of the technological capabilities of equipment used in the formation of a threaded smooth surface and thread. The technique for determining the diameter of a threaded smooth surface is presented, taking into account the technological capabilities of equipment used in production conditions. The methods of mathematical statistics are applied. The result of the test of the presented technique is the determination of the diameter of cylindrical rods for thread rolling, for example, threading on M16, M24 and M27 studs.