

УДК 621.882.085/.086.004

DOI: https://doi.org/10.52899/24141437_2025_01_33

Оригинальное исследование



Проектирование современной 3D-технологии нарезания качественной резьбы в изделиях судостроительного производства

А.З. Курбанов, Н.М. Вагабов

Дагестанский государственный технический университет, Махачкала, Россия

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Анализ результатов проведенных аналитических исследований позволил утверждать, что существующие технологии не обеспечивают нарезание качественных внутренних резьб в изделиях судостроительного производства, изготовленных из труднообрабатываемых материалов.

Цель — создать современную 3D-технология на основе конструирования прогрессивного резьбонарезного инструмента, в котором для обеспечения высокого качества нарезаемой резьбы необходимо разработать специальную схему резания с целью полного исключения трения боковых сторон зуба метчиковой части комбинированного инструмента зенкер-метчик с поверхностью нарезаемой резьбы, что обеспечит доступ в зону резания смазочно-охлаждающей жидкости, способствующей понижению температуры и смыванию с контактирующей части инструмента мелких частиц обрабатываемого материала, корябщих поверхности.

Методы. Для выполнения данной работы были применены методы эмпирического исследования: наблюдение, сравнение, измерение, эксперимент.

Результаты. Разработанная современная 3D-технология предоставила возможность автоматизировать процесс расчета основных параметров резьбонарезного инструмента и изготовления его в реальном производстве.

Выводы. Разработанная прогрессивная 3D-технология для создания современного процесса нарезания внутренних резьб в изделиях судостроительного производства, изготовленных из труднообрабатываемых материалов, и испытание ее в реальных производственных условиях позволили повысить качество и производительность выпускаемой продукции и решить главный вопрос — автоматизировать процесс изготовления и импортозамещения.

Ключевые слова: программа; оборудование; судостроительное производство; 3D-технология; импортозамещение; качество; производительность; труднообрабатываемые материалы; моделирование; конструирование; схема резания; инструмент.

Как цитировать

Курбанов А.З., Вагабов Н.М. Проектирование современной 3D-технологии нарезания качественной резьбы в изделиях судостроительного производства // Труды Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. 2025. Т. 4, № 1. С. 33–42. DOI: https://doi.org/10.52899/24141437_2025_01_33

DOI: https://doi.org/10.52899/24141437_2025_01_33

Original study article

Design of state-of-the-art 3D technology used to cut high-quality threads in shipbuilding products

Ali Z. Kurbanov, Nurulla M. Vagabov

Dagestan State Technical University, Makhachkala, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Review of analytical studies allowed us to conclude that existing technologies do not ensure cutting of high-quality internal threads in shipbuilding products made from difficult-to-machine materials.

AIM: A state-of-the-art 3D technology based on the design of an advanced thread-cutting tool is required to ensure high quality of the cut thread. Thus, it is necessary to develop a special cutting pattern to eliminate friction of tap side faces of the counter-sink tap with the surface of the cut thread. This will provide access of the cutting fluid to the cutting area allowing to lower the temperature and wash away small particles of the processed material warping the surfaces from the contact part of the tool.

METHODS: Empirical methods were used, including observation, comparison, measurement, and experiment.

RESULTS: The developed state-of-the-art 3D technology allowed for automating the calculation of the basic parameters for a thread-cutting tool and manufacture it in real-life production conditions.

CONCLUSIONS: The developed advanced 3D technology to create a state-of-the-art internal thread cutting process for shipbuilding products made of difficult-to-machine materials and testing it in real-life production conditions allowed to improve the quality and productivity of manufactured products and solve the main issue of import substitution.

Keywords: program; equipment; shipbuilding; 3D technology; import substitution; quality; productivity; hard-to-machine materials; modeling; design; cutting pattern; tool.

To cite this article

Kurbanov AZ, Vagabov NM. Design of state-of-the-art 3D technology used to cut high-quality threads in shipbuilding products. *Transactions of the Saint Petersburg State Marine Technical University*. 2025;4(1):33–42. DOI: https://doi.org/10.52899/24141437_2025_01_33

Received: 10.01.2025

Accepted: 15.02.2025

Published online: 25.03.2025

ВВЕДЕНИЕ

Нарезание качественных резьбовых отверстий в деталях изделий судостроительного производства [1], изготовленных из труднообрабатываемых материалов, зависит от конструкции, геометрии и качества изготовления резьбонарезного инструмента. Очень важным является решение данной проблемы за счет создания прогрессивных 3D-технологий, обеспечивающих высокую производительность, основанную на создании современного станочного парка, высокопроизводительных инструментов, оснастки для решения вопроса импортозамещения, возникшего вследствие введения Евросоюзом и США тотальных санкций против Российской Федерации. Заметим, что отечественная станкостроительная промышленность с каждым годом увеличивает темпы выпуска и улучшает качество такого вида оборудования, это обеспечивает инструментальная промышленность [11, 13]. Большие резервы улучшения качества режущих инструментов и их работоспособности заложены в использовании быстрорежущих сталей и твердых сплавов новых марок, в использовании конструкций инструментов с оптимальной геометрией, комбинированных инструментов и т.д. Особенно этот вопрос остро стоит в производстве судостроительной промышленности для выпуска качественной, технологичной промышленной продукции. Для этого в первую очередь необходимо решить вопросы повышения надежности технологических операций механической обработки в ответственных деталях оборудования судостроения, изготовленных из труднообрабатываемых материалов [1–3]. Надежность технологической операции зависит от применяемого оборудования, режущих инструментов, режимов резания, знаний и мастерства исполнителя, материалов, применяемых для обработки [8, 13].

Из вышесказанного следует, что назрела необходимость создания прогрессивной 3D-технологии нарезания качественных внутренних резьб в изделиях судостроительного оборудования, изготовленных из труднообрабатываемых материалов [3, 6, 7, 9].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В связи с тем, что существующая технология нарезания внутренних резьбовых отверстий в труднообрабатываемых материалах, из которых сделаны изделия судостроительного производства, не обеспечивает качественную, производительную работу, назрела необходимость разработать более совершенную, используя прогрессивную 3D-технологию. Авторами разработана прогрессивная 3D-технология, основанная на применении комбинированного инструмента зенкер-метчика. Проведенные экспериментальные и производственные испытания комбинированного инструмента зенкер-метчика на реальном производстве для обработки резьбовых отверстий в деталях судостроительного производства,

изготовленных из труднообрабатываемых материалов, позволили установить эффективность выполняемой работы по качеству и производительности. Особенно актуален вопрос для автоматизации данного процесса.

МЕТОДЫ

При проведении исследований применены следующие методы:

- основные теоретические методы научного исследования: дедукция, аксиоматический, анализ;
- основные эмпирические методы научного исследования: наблюдение, эксперимент.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Длительные производственные наблюдения показывают, что несмотря на кажущуюся простоту автоматизации процессов резьбонарезания, получить ожидаемый эффект от этого процесса удается не всегда, особенно при обработке точных резьб в труднообрабатываемых материалах, из которых изготовлены многие детали изделий судостроения, производящиеся предприятием «АО завод им. М. Гаджиева» (рис. 1). Иногда после обработки на высокопроизводительном автоматизированном станке осуществляется ручная калибровка резьбы, так как без этого не удается выполнить качественное резьбовое отверстие, или очень часты поломки метчиков при однопроходном резьбонарезании.

Факторами, снижающими работоспособность метчиков, в основном являются:

- 1) выкрашивание режущих кромок на заборном конусе метчика;
- 2) поломки метчиков (в особенности малых размеров до 18 мм);
- 3) несоблюдение размеров и технических требований, предъявляемых к резьбе в детали.

Если при работе на обычном однопозиционном оборудовании можно было мириться с неудовлетворительной работоспособностью метчиков и находить практические решения для обеспечения нормального протекания технологического процесса, то при работе на агрегатных и автоматизированных станках такая возможность в большинстве случаев отсутствует, так как:

1. При работе машинным метчиком на однопозиционном оборудовании (например, на сверлильном станке) рабочий немедленно замечает любое отклонение процесса и прекращает работу для принятия каких-либо мер. При работе на агрегатном или автоматическом станке в условиях многостаночного обслуживания или пультового управления такая возможность в большинстве случаев отсутствует.

2. Нарезание точных резьб при работе на обычном оборудовании осуществляется в основном комплектом метчиков, причем последний чистовой проход обычно выполняется вручную. Такое решение для автоматизированного оборудования неприемлемо.

3. В связи с неудовлетворительной работоспособностью метчиков простой однопозиционного оборудования велики. При работе на агрегатных станках и автоматических линиях эти простои возрастают многократно, так как при выходе из строя любого элемента, в том числе и метчика, почти всегда необходимо остановить весь агрегат.

Несмотря на значительное количество и разнообразие исследований работы метчиков, теоретическая разработка ряда вопросов проводилась недостаточно. Имеющиеся в литературе статистические данные по эксплуатации машинных метчиков [12–14] говорят о том, что вопросы стойкости машинных метчиков при их нормальном износе не могут полностью характеризовать их работоспособность.

Для обеспечения высокого качества резьбовых отверстий и повышения стойкости комбинированного инструмента нами разработана на метчиковой части специальная схема резания [4, 5, 8, 11], которая позволяет устранить недостатки известных технологий, заключающиеся в том, что работа метчиков, в силу специфики резбонарезания в труднообрабатываемых материалах, протекает в очень трудных условиях: одновременное участие в процессе большого количества режущих кромок, значительная площадь контакта инструмента с обрабатываемым материалом, как в зоне резания,

так и по боковым поверхностям, затрудненный доступ смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), чрезмерные силовые и температурные нагрузки. Все это способствует интенсивному износу, а также вызывает защемление режущих зубьев во впадинах резьбы, что приводит к поломке метчиков. В предлагаемой конструкции [4, 14] обеспечен зазор на боковых поверхностях зубьев метчиковой части комбинированного инструмента за счет несимметричности половины углов профиля зуба $\epsilon_1 = 27^\circ 30'$ и $\epsilon_2 = 27^\circ 22'$ для М14 с шагом $P = 2,00$ мм. Данная конструкция способствует доступу в зону обработки СОЖ, которая подается под большим давлением, обеспечивая тем самым смывание мелких частиц обрабатываемого материала, что предотвращает выкрашивание, защемление и коробление поверхностей зубьев.

Результаты статистических исследований стойкости метчиков на предприятии «АО завод им. М. Гаджиева» [1] позволили нам прийти к выводу о том, что опыты на стойкость большинства типов метчиков дают одностороннюю кривую распределения, когда мода, т. е. наиболее вероятная их стойкость, расположена в зоне стойкостей инструмента $T_{\min} \rightarrow 0$. Это указывает на наличие значительного количества ненормальностей (поломок, выкрашивания режущих кромок, задиров, потерь размера и др.), резко снижающих стойкость метчиков.



Рис. 1. Изделия судостроительного производства, выпускаемые на предприятии «АО завод им. М. Гаджиева». Иллюстрация с сайта предприятия «АО завод им. М. Гаджиева».

Fig. 1. Shipbuilding products manufactured by M. Gadzhiev Plant JSC.

Из перечисленного комплекса наиболее полно и глубоко изучена стойкость машинных метчиков при нормальном их износе. Изучение же остальных перечисленных выше факторов систематически не осуществлялось и носит в основном случайный характер. Поэтому в литературе не приводится ни методики исследования этих явлений, ни глубокого анализа причин, вызывающих их. Особенно проблемным является выкрашивание режущих кромок метчиков.

Вопросами выкрашивания режущих кромок инструментов начали заниматься сравнительно недавно. При выкрашивании режущих кромок во время стойкостных испытаний ограничиваются замечаниями о ненормальном износе инструмента. Это относится не только к метчикам, но и ко всем видам режущих инструментов.

Нами рассмотрены вопросы прочности режущих кромок подобных инструментов в следующих работах [6–8]. В них приняты три основные расчетные схемы нагружения режущих кромок при резании металла. Расчетные схемы нагружения несколько идеализированы, так как не учитывалась кинематика резания.

Для рассмотрения метчиков, работающих с большими осевыми подачами (равными шагу), такие схемы могли бы дать значительную погрешность. В указанных схемах рассматривается выкрашивание как результат действия сил резания на переднюю поверхность инструмента. При работе метчика в большинстве случаев причиной выкрашивания являются совершенно иные силы. Однако выводы, к которым пришли при изучении прочности режущих кромок, являются достаточно общими и могут быть использованы и при рассмотрении выкрашиваний метчиков. Главные из них следующие:

1. При температуре 20 °С и прочих равных условиях прочность режущих кромок инструментов, изготовленных из инструментальной стали разных марок, характеризуется величинами: для стали Р9 $\sigma_T = 158 \text{ кг/мм}^2$ (1580 Мн/м²); для стали Р18 $\sigma_T = 130 \text{ кг/мм}^2$ (1300 Мн/м²); для стали ХВГ $\sigma_T = 95 \text{ кг/мм}^2$ (950 Мн/м²); для стали У12А $\sigma_T = 94 \text{ кг/мм}^2$ (940 Мн/м²). Из указанного ряда материалов для машинных метчиков употребляются стали Р18 и Р9, что оправдано длительным опытом эксплуатации, причем сталь Р18 применяется значительно чаще. Повышенная прочность стали Р9 по сравнению со сталью Р18 (примерно на 21 %), как показывает опыт работы, не является достаточным обоснованием для использования стали Р9 вместо стали Р18, так как сталь Р9 склонна к образованию трещин при шлифовании профиля резьбы.

2. Температура до 500 °С не оказывает заметного влияния на прочность стали Р18. По данным исследований [4, 14], при работе метчиками, даже при скоростях до 30–35 м/мин, температура режущих кромок не превышает 400 °С. Тем более она не будет достигать 400 °С при скоростях, применяемых на агрегатных и автоматизированных станках ($v = 6 \div 18$ м/мин). Следовательно, при исследовании прочности метчиков температурным фактором можно пренебречь.

3. Поверхность скалывания режущих кромок располагается перпендикулярно к поверхности, которая подвержена нагружению к передней поверхности. Несмотря на то, что основной причиной выкрашивания метчиков не являются силы, действующие на переднюю поверхность, скалывание кромок метчиков происходит аналогично.

Выкрашивание режущих кромок заборного конуса метчика в основном наблюдается при нарезании резьбы в глухих отверстиях [5, 10]. Наблюдения авторов показывают, что это явление встречается и при нарезании резьбы в сквозных отверстиях при условии, что резьбу режут не «напроход», т.е. когда заборный конус метчика не выходит с противоположной стороны отверстия. Причиной выкрашивания считается схватывание передней поверхности метчика с корнем стружки при перемене хода метчика [10]. Такая точка зрения неправильна.

Указание о возможности выкрашиваний режущих кромок в результате попадания стружек под затылочную поверхность метчика при вывертывании имеется в работах [7, 9, 14, 15]. Авторы этих работ не занимались детальным анализом данного явления и не предлагают надежных способов устранения выкрашиваний.

В настоящей работе решение вопроса о выкрашивании предлагается осуществлять путем нахождения и создания форм затылочных кривых, которые не допускали бы возможности попадания стружек между затылочной и обрабатываемой поверхностью.

Под затылочной кривой понимают плоскую кривую, представляющую след от пересечения затылочной поверхности заборного конуса метчика с плоскостью, перпендикулярной оси метчика. Следовательно, форма затылочной поверхности характеризуется формой затылочной кривой. Изучение форм затылочных кривых заборного конуса метчика представляет интерес во многих отношениях. При разных формах затылочных кривых вероятность попадания стружек под затылочную поверхность заборного конуса метчика различна. Следовательно, метчики, затылованные разными способами, будут иметь и разную сопротивляемость выкрашиванию. Форма затылочной кривой характеризует геометрию режущей кромки метчика, обеспечивая те или иные величины задних углов заборного конуса.

В литературе описано до десяти видов различных приспособлений и станков для затылования заборных конусов метчиков, причем каждый тип приспособления обеспечивает определенную форму затылочной кривой, отличную от других видов. При этом каких-либо убедительных обоснований для применения того или иного способа затылования не имеется. Отсутствуют также расчетные формулы для определения величин задних углов α_{CT} и величин падений затылков K_{CT} при том или ином способе затылования в зависимости от параметров настройки приспособлений.

Расчет величины заднего угла по известному значению K_{CT} не представляется возможным, так как зависимость

$\alpha_{\text{CT}} = f(K_{\text{CT}})$ для каждого типа затылочной кривой не получена. Надежных способов измерения углов α_{CT} также не имеется. Ряд исследователей [14] и др., чтобы получить возможность определения фактических величин α_{CT} , вынуждены были разрезать метчик и просматривать срез под микроскопом или проектором, но этот способ не может считаться удовлетворительным.

В большинстве работ задние углы и величины падения затылков на заборном конусе метчиков рассматриваются в статическом состоянии инструмента. В то же время известно, что эти величины в работе значительно изменяются. Особенно это касается метчиков, так как этот инструмент работает с большими подачами на оборот (равными шагу резьбы) и влияние осевого перемещения на величины углов и величины падений затылков велико.

Разработанная нами 3D-технология позволяет устранить недостатки известных технологий, заключающиеся в том, что работа метчиков, в силу специфики резьбонарезания в труднообрабатываемых материалах, протекает в очень трудных условиях: участие в процессе одновременно большого количества режущих кромок, значительная площадь контакта инструмента с обрабатываемым материалом, как в зоне резания, так и по боковым поверхностям, затрудненный доступ СОЖ, чрезмерные

силовые и температурные нагрузки. Все это способствует интенсивному износу, а также вызывает защемление режущих зубьев во впадинах резьбы, что приводит к поломке метчиков. Одной из задач настоящей работы является установление причин и изыскание способов ликвидации поломок метчиков.

Из всех видов режущего инструмента машинные метчики при эксплуатации имеют наиболее высокий процент поломок. Это объясняется тем, что работа машинных метчиков имеет свою специфику, с одной стороны, прочность метчиков не может быть увеличена сколько-нибудь ощутимо, так как диаметр метчика увеличен быть не может, с другой стороны, нагрузки, которые воспринимает метчик, не могут быть снижены значительно, так как осевая подача метчика на оборот не может быть уменьшена. Именно эти условия чрезвычайно усложняют решение вопроса ликвидации поломок машинных метчиков.

С течением времени борьба с поломками метчиков усложняется в связи с появлением все более прочных сталей и сплавов, при обработке которых силы во много раз больше, чем при обработке обычных машиностроительных материалов. Прочность же инструментальных сталей за последние 20–30 лет не изменилась. В основном все исследовательские работы направлены

Таблица 1. Основные параметры расчета комбинированного инструмента зенкер-метчик

Table 1. Basic parameters for calculating a countersink tap

Параметры метчика	Параметры зенкера	Справочные размеры
Наружный диаметр $d_m = 14,73$ мм	Наружный диаметр $d_z = 12,0$ мм	Оптимальный диаметр проволок $R1 = 1,910$ мм
Допуск диаметра $\delta_{dm}(0,6) = -0,105$ мм	Допуск диаметра $(0,1) = 0,39$ мм	Длина передней фаски $F1 = 10$ мм
Стандартный средний диаметр $d_{m2} = 12,752$ мм	Величина затылования $h_z = 0,7$ мм	Длина задней фаски $F2 = 10$ мм
Корректированный средний диаметр $d_{m2}^n = 12,769$ мм	Размер для справок $d_{z2} = 11,3$ мм	Величина перекрытия $C = 0,5$ мм
Допуск диаметра $d_m(2,04) = -0,034$ мм	Припуск на зенкерование $t_z = 0,4$ мм	Размер $M1y$ конца конуса $M1 = 15,560$ мм
Внутренний диаметр $d_{m1} = 11,725$ мм	Длина режущей части $l_{z0} = 0,8$ мм	Ширина фрезы для канавки $S = 11,0$ мм
Ширина пера $P1 = 4,5$ мм	Длина рабочей части $l_{z1} = 10$ мм	Глубина канавки $RZ = 4,4$ мм
Величина затылования $h_m = 1,6$ мм	Общая длина зенкера $l_{z2} = 20$ мм	
Диаметр сердцевинки $d_{m3} = 5,7$ мм	Диаметр хвостовика $d_{z3} = 11,2$ мм	
Угол заборного конуса $\varphi_1 = 3^\circ$	Диаметр сердцевинки $d_{z4} = 6,0$ мм	
Угол обратного конуса $Q_5 = 0^\circ 20'$	Ширина ленточки $f_z = 0,7$ мм	
Угол профиля $\varepsilon_1 = 27^\circ 30'$	Диаметр сверла $d_{\text{CB}} = 11,2$ мм	
Угол профиля $\varepsilon_2 = 27^\circ 22'$		
Число режущих зубьев $z = 31$		
Длина заборной части $l_{m0} = 20,731$ мм		
Длина конической части $l_{m1} = 24$ мм		
Диаметр хвостовика $d_{m4} = 11$ мм		
Длина хвостовика $l_{m2} = 70$ мм		
Размер квадрата $h_{\text{KB}} = 9$ мм		
Длина квадрата $l_{m4} = 13$ мм		
Диаметр шейки $d_{m5} = 9$ мм		
Общая длина инструмента $l_{m5} = 110$ мм		
Длина до стыка $l_{m6} = 54$ мм		

на улучшение стойкостных характеристик инструментальных сталей, а не их прочностных характеристик. Несмотря на большую актуальность вопросов, связанных с ликвидацией поломок метчиков, они изучены недостаточно. В какой-то степени данный вопрос решен нами в процессе проведенных исследований на предприятии «АО завод им. М. Гаджиева», а именно в предлагаемой конструкции [1] (Авторское свидетельство № 1618535/08.09.1990. Курбанов А.З., Абдуллаев А.В. Метчик для обработки труднообрабатываемых материалов) обеспечен зазор на боковых поверхностях зубьев метчиковой части комбинированного инструмента за счет неравенства половины углов профиля зуба $\epsilon_1 = 27^\circ 30'$ и $\epsilon_2 = 27^\circ 22'$ для М14 с шагом $P = 2,00$ мм. Данная конструкция способствует доступу в зону обработки СОЖ, которая подается под большим давлением, обеспечивая тем самым смывание мелких частиц обрабатываемого материала, что предотвращает выкрашивание, защемление и коробление поверхностей зубьев.

Поэтому вопрос проектирования и создания комбинированного инструмента путем разработки 3D-технологии является очень актуальным [12, 15].

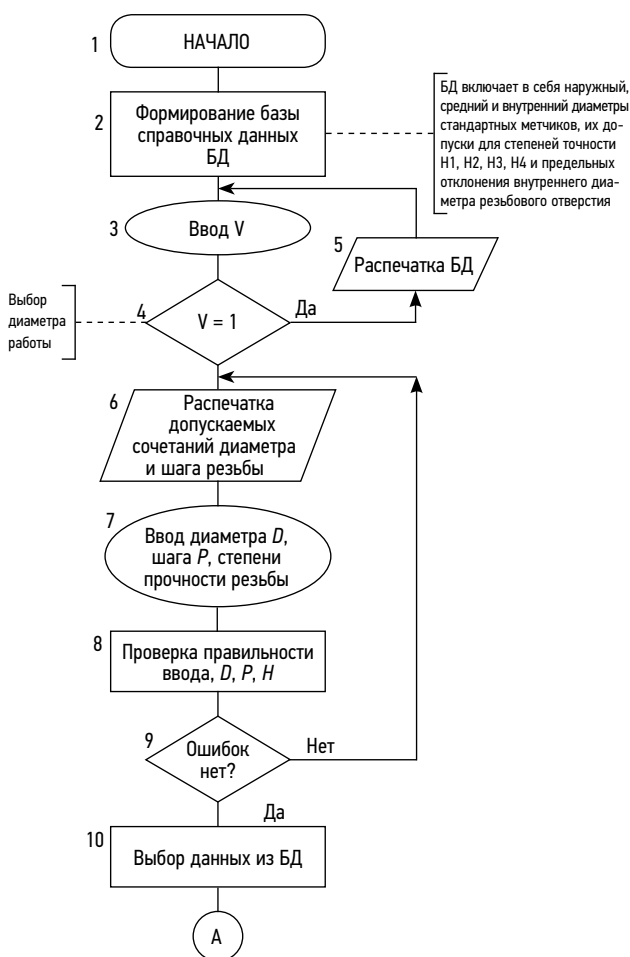


Рис. 2. Блок-схема алгоритма расчета комбинированного инструмента зенкер-метчик. БД — база данных; D — диаметр; P — шаг резьбы; H — степень прочности.
Fig. 2. Calculation algorithm flow chart for the countersink tap.

При создании 3D-модели комбинированного инструмента зенкер-метчика важнейшим этапом в процессе является создание модели объекта, максимально приближенной по своим параметрам к параметрам объекта, которое носит название трехмерное моделирование [8]. Для создания 3D-модели (монокристаллическая модель) комбинированного инструмента зенкер-метчика была разработана блок-схема расчета параметров и блок-схема алгоритма с заданной программой, а для изготовления в производственных условиях разработан код и программа для модели. Для примера на основании использования блок-схемы расчета (рис. 2) и блок-схемы алгоритма с заданной программой (рис. 3) провели расчет параметров метчика для нарезания резьбы М14 с шагом $P = 2,00$ мм, результаты которого представлены в табл. 1.

На основании вышеприведенных расчетов, применив прогрессивную 3D-технологии, можно получить модель, которая в дальнейшем может быть использована на производстве для изготовления комбинированного инструмента зенкер-метчик (рис. 4).

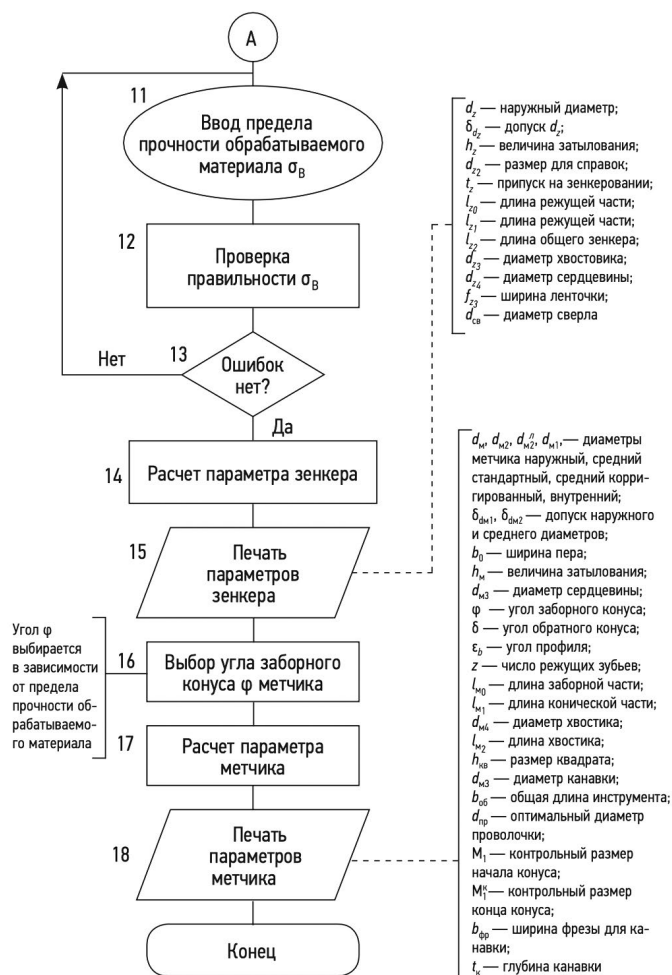


Рис. 3. Блок-схема расчета алгоритма с заданной программой.
Fig. 3. Programmed calculation algorithm flow chart.

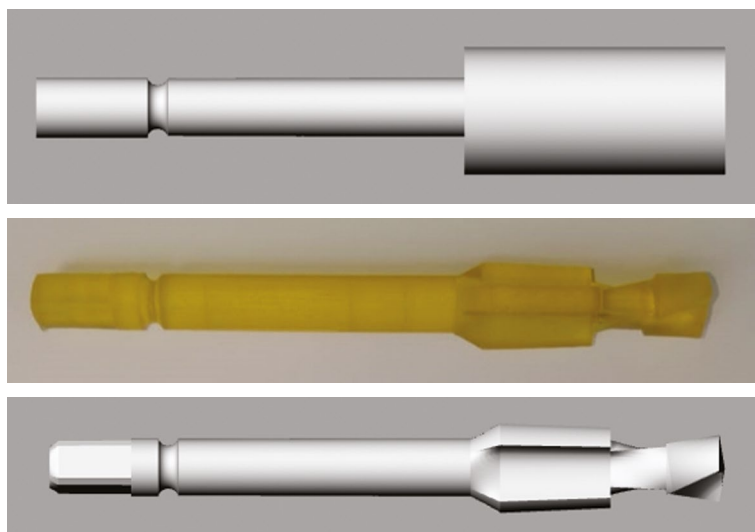


Рис. 4. 3D-модель для изготовления комбинированного инструмента зенкер-метчик.
Fig. 4. 3D manufacturing model of a countersink tap.

В дальнейшем по итогам смоделированного зенкер-метчика в 3D-программе был создан необходимый программный код для его прототипирования, конечным результатом которого стала напечатанная модель (рис. 5) [4, 6, 7, 9].

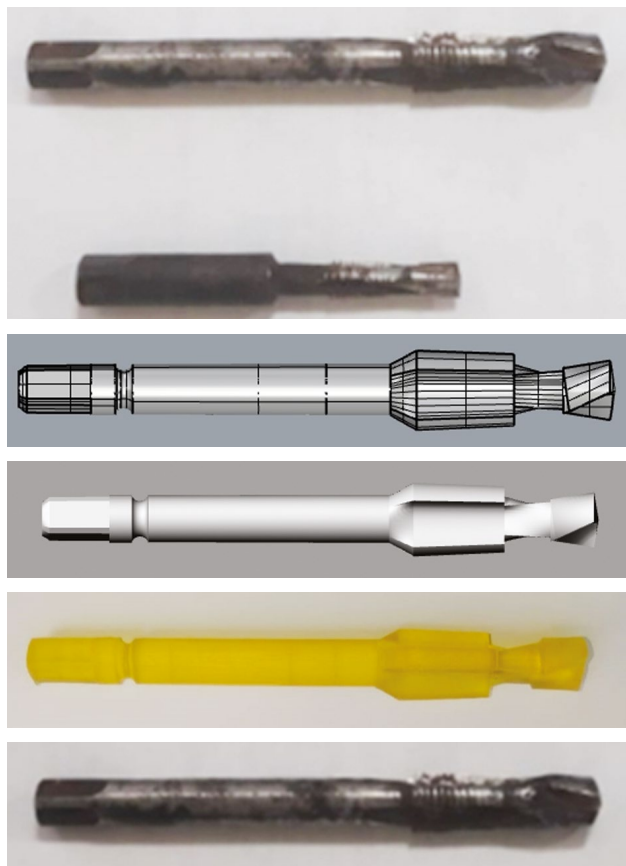


Рис. 5. Совокупный результат модернизированного производства
Fig. 5. Final result of the redesigned process

ВЫВОДЫ

1. Применение современной 3D-технологии для проектирования и создания комбинированного инструмента зенкер-метчика позволило механизировать и автоматизировать процесс расчета его параметров на основании применения блок-схемы расчета и блок-схемы расчета алгоритма с заданной программой.
2. Разработка кода для формирования модели позволила модернизировать процесс его создания для нарезания резьбы в деталях изделий судостроительного производства, изготовленных из труднообрабатываемых материалов.
3. Проведенные аналитические исследования показали эффективность разработанной 3D-модели для обработки резьбовых отверстий в изделиях судостроительного производства, изготовленных из труднообрабатываемых материалов.
4. Дальнейшие экспериментальные исследования в реальных производствах, результаты которых будут опубликованы в следующих статьях, должны доказать преимущество разработанной 3D-технологии.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Оригинальность. При создании настоящей работы были использованы фрагменты собственного текста, опубликованного ранее (Вагабов Н.М., Курбанов А.З., Магомедова М.А. Проектирование и расчет комбинированного инструмента зенкер-метчик для обработки деталей судовых машин, механизмов и судовой арматуры. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018;45(2):8-17. DOI: 10.21822/2073-6185-2018-45-2-8-17, распространяется на условиях лицензии CC-BY 4.0).

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку

статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией. Личный вклад каждого автора: А.З. Курбанов — обладатель авторского свидетельства на комбинированный инструмент зенкер-метчик, Победитель Гранта Главы Республики Дагестан (тема посвящена разработке, проектированию и созданию современной 3D-технологии нарезания резьбы в труднообрабатываемых материалах, и эти исследования являются основой создания и написания статьи), принял активное участие в подготовке и оформлении статьи; Н.М. Вагабов — принял активное участие в подготовке и оформлении статьи, разработке схем и рисунков.

Источник финансирования. Источником финансирования исследований являются средства победителя конкурса Гранта Главы Республики Дагестан в области образования, науки, техники и инноваций в 2022 году (Проект выполнен в период с 10.01.2023 по 25.12.2023).

Благодарность. Выражаем благодарность за оказание содействия при выполнении Грантовой работы Министру образования и науки Республики Дагестан Бучаеву Яхье Гамидовичу и генеральному директору завода «АО завод им. М. Гаджиева» Папалашову Абдулвагабу Яхьяевичу.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ADDITIONAL INFO

Statement of originality. When creating this work, fragments of his own text published earlier were used (Vagabov N.M., Kurbanov A.Z., Magomedova M.A. Combined countersink-tap

tool for the processing of parts of ship machines, mechanisms and fittings: design and calculations. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2018;45(2):8-17. (In Russ.) doi: 10.21822/2073-6185-2018-45-2-8-17).

Authors' contributions. All authors made substantial contributions to the conception, conduct of the study and preparation of the paper, read and approved the final version before publication. Personal contribution of each author: A.Z. Kurbanov, Holder of the author's certificate for the combined countersink gauge tool, Winner of the RD Chapter Grant (the topic is devoted to the development, design and creation of modern 3D-thread cutting technology in difficult-to-process materials and these studies are the basis for creating and writing an article), took an active part in the preparation of the article, took part in the design of the article; N.M. Vagabov, took an active part in the preparation of the article, development of diagrams and drawings, took part in the design of the article.

Funding source. The source of research funding is the funds of the winner of the Grant competition of the Head of the Republic of Dagestan in the field of education, science, technology and innovation in 2022 (The project was completed in the period from 01/10/2023 to 12/25/2023).

Gratitude. We express our gratitude for the assistance in the implementation of the grant work to the Minister of Education and Science of the Republic of Dagestan Buchaev Yahya Hamidovich and the general director of the plant "JSC Plant named after M. Gadzhiev" Papalashov Abdulvagab Yakhyevich.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авторское свидетельство № 1618535/08.09.1990. Курбанов А.З., Абдуллаев А.В. Метчик для обработки труднообрабатываемых материалов.
2. Мацкевич В.Д., Гармашев А.Д. Судостроительные материалы: Учебное пособие. Ленинград: ЛКИ, 1983. 94 с.
3. Абасов И. Основы трехмерного моделирования в 3dsMax: Учебное пособие. Москва: ДМК Пресс, 2009.
4. Гуревич Я.Л., Горохов М.В., Захаров В.И., и др. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: Справочник / изд. перераб. и доп. Москва: Машиностроение, 1986. 240 с.
5. Стиренко А.С. 3dsMax 2009/ 3dsMaxDesign 2009. Самоучитель. Москва: ДМК Пресс, 2013.
6. Попилов Л.Я. Новые материалы в судостроении: В 4-х ч. Ленинград: Судостроение, 1966–1974. 365 с.
7. Петрухин П.Г. Резание труднообрабатываемых материалов. Москва: Машиностроение, 1980. 230 с.
8. Подураев В.Н. Обработка резанием жаропрочных и нержавеющей материалов. Москва: Высшая школа, 2005. 245 с.
9. Сахно К.Н. Проектирование сложных судовых трубопроводных систем с учетом погрешностей их изготовления. Астрахань: Издательство АГТУ, 2008. 83 с.
10. Баранчиков В.И., Жариков А.И., Юдина Н.Д., и др. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: Справочник / под ред. В.И. Баранчикова. Москва: Машиностроение, 1990. 400 с.
11. Дьяков А.С., Сахно К.Н. Развитие технологий изготовления трубопроводов в рамках стратегии импортозамещения // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2015. Т. 13. С. 3516–3520. EDN: TWCPBZ
12. Абрамович В.Р., Алешин Д.В., Альшиц И.М., и др. Справочник по современным судостроительным материалам / под ред. Л.Я. Попилова. Ленинград: Судостроение, 1979. 584 с.
13. Стальниченко О.И. Материаловедение и технология материалов. Киев: Вищ шк., 1986. 286 с.
14. Резников Н.И. Производительная обработка резанием жаропрочных, высокопрочных и титановых сплавов. Москва: Машгиз, 1972. 352 с.
15. Фрумин Ю.Л. Высокопроизводительный резьбонарезающий инструмент. Москва: Машиностроение, 1977. 183 с.

REFERENCES

1. Copyright certificate N 1618535 / 08.09.1990. Kurbanov AZ, Abdullaev AV. Tapping tool for machining of difficult-to-machine materials. (In Russ.)
2. Matskevich VD, Garmashev AD. *Shipbuilding materials: Manual*. Leningrad: LKI; 1983. 94 p. (In Russ.)
3. Abasov I. *Fundamentals of three-dimensional modeling in 3dsMax: Manual*. Moscow: DMK Press; 2009. (In Russ.)
4. Gurevich YL, Gorokhov MV, Zakharov VI, et al. *Cutting modes of hard-to-machine materials: Reference book. ed. revis. suppl.* Moscow: Mashinostroenie; 1986. 240 p. (In Russ.)
5. Stirenko AS. *3dsMax 2009/3dsMaxDesign 2009*. Self-tutorial. Moscow: DMK Press; 2013. (In Russ.)
6. Popilov LYa. New materials in shipbuilding: In 4 parts. Leningrad: Sudostroenie; 1966–1974. 365 p. (In Russ.)
7. Petrukhin PG. *Cutting of hard-to-machine materials*. Moscow: Mashinostroenie; 1980. 230 p. (In Russ.)
8. Poduraev VN. *Cutting processing of heat-resistant and stainless materials*. Moscow: Higher School; 2005. 245 p. (In Russ.)
9. Sakhno KN. *Designing of complex ship piping systems taking into account the errors of their manufacturing*. Astrakhan: Publishing house of Astrakhan State Technical University; 2008. 83 p. (In Russ.)
10. Baranchikov VI, Zharikov AI, Yudina ND, et al. *Progressive cutting tools and metal cutting modes: Reference book*. Baranchikov VI, editor. Moscow: Mashinostroenie; 1990. 400 p. (In Russ.)
11. Dyakov AS, Sakhno KN. Development of pipeline manufacturing technologies within the framework of import substitution strategy. *Scientific and methodological electronic journal "Concept"*. 2015;13:3516–3520. EDN: TWCPBZ (In Russ.)
12. Abramovich VR, Alyoshin DV, Alshits IM, et al. *Reference book on modern shipbuilding materials*. Popilov LYa, editor. Leningrad: Sudostroenie; 1979. 584 p. (In Russ.)
13. Stalnichenko OI. *Material science and technology of materials*. Kyiv: Vishch shk.; 1986. 286 p. (In Russ.)
14. Reznikov NI. *Productive machining by cutting of heat-resistant, high-strength and titanium alloys*. Moscow: Mashgiz; 1972. 352 p. (In Russ.)
15. Frumin YL. *High-performance thread cutting tools*. Moscow: Mashinostroenie; 1977. 183 p. (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ

***Али Зульпакарович Курбанов**, канд. техн. наук, профессор; адрес: Россия, 367015, Махачкала, пр-кт И. Шамиля, д. 70; eLibrary SPIN: 3867-2140; e-mail: kurbanov-48@mail.ru

Нурулла Магомедович Вагабов, канд. техн. наук, доцент; e-mail: vagabov01@inbox.ru

AUTHORS' INFO

***Ali Z. Kurbanov**, Cand. Sci. (Engineering), Professor; address: 70 I. Shamil ave, Makhachkala, 367015, Russia; eLibrary SPIN: 3867-2140; e-mail: kurbanov-48@mail.ru

Nurulla M. Vagabov, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor; e-mail: vagabov01@inbox.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author