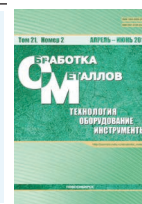




Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)

Сайт журнала: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Однопроходное формирование резьб на пластичных металлах деформирующим резанием

Николай Зубков ^{а, *}

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1, г. Москва, 105005, Россия

^а <http://orcid.org/0000-0003-3757-1299>, zoubkovn@bmstu.ru

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 621.992.32

История статьи:

Поступила: 15 марта 2019
Рецензирование: 08 апреля 2019
Принята к печати: 17 апреля 2019
Доступно онлайн: 15 июня 2019

Ключевые слова:

Резьба
Резьбонарезание
Резьбовой резец
Резьбовой профиль
Деформирующее резание

Финансирование

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки России (Грант № 9.5617.2017 / ВУ).

Благодарности

Автор выражает благодарность Е.А. Логинову за помощь в проведении экспериментов и А.И. Овчинникову за обсуждение полученных результатов.

АННОТАЦИЯ

Введение. Изготовление резьб в крупносерийном производстве основано на безотходных методах пластического деформирования. Для средне- и мелкосерийного производства получили распространение методы резьбонарезания метчиками, плашками, гребенками, резьбовыми фрезами, резцами. Для всех известных методов резьбонарезания проблемой является получение резьб на материалах с большой пластичностью, особенно на тонкостенных трубах. Универсальным методом получения резьб различного диаметра и шага является их нарезание резцом на токарных станках. Существенный недостаток этого метода заключен в многопроходности резьбообразования, что существенно снижает производительность. Существует относительно новый метод деформирующего резания (ДР), основу которого составляет как процесс резания, так и целенаправленного деформирования подрезанного слоя. В статье модификация метода ДР рассматривается как альтернатива традиционному нарезанию резьб резцом, основанном на удалении материала впадины резьбы в виде стружки. **Цель работы:** апробация метода деформирующего резания как средства получения резьб на пластичных металлах за один проход инструмента с минимальным количеством удаляемого материала. Задачи работы: теоретический анализ процесса перераспределения материала в процессе ДР, выявление основных закономерностей и особенностей резьбообразования, анализ получаемых резьб. **В работе исследовано** нарезание резьб на медных трубах методом ДР с направлением подачи инструмента на деформирующую кромку. Методы исследования, анализ геометрических параметров получаемых резьб, металлографические исследования, в том числе измерение распределения твердости по резьбовому профилю. **Результаты и обсуждение.** Для ДР используется специальный инструмент, обеспечивающий процесс резания главной режущей кромкой и исключающий процесс резания на вспомогательной кромке, являющейся деформирующей. При ДР слой, подрезаемый режущей кромкой, выдавливается на обрабатываемую поверхность в виде гребня, который принимает окончательную форму резьбового профиля на следующем обороте заготовки. **Выводы.** Теоретически обоснован и экспериментально подтвержден выбор технологических параметров обработки для получения резьбового профиля заданных геометрических характеристик. Предложенный метод получения резьб занимает промежуточное положение между методами, основанными на процессе резания (удаление материала заготовки) и процессе пластического деформирования. Основное отличие от обычного резьбонарезания резцом состоит в том, что в процессе ДР присутствует пластическое перераспределение материала из объема впадины в объем гребня. Основным отличием от накатывания резьбы является то, что в процессе ДР образуются новые поверхности, характерные процессам резания. Проведенные исследования показали, что в структуре материала резьбового профиля имеются зоны, присущие как процессам обработки давлением, так и обычному резанию. Большое значение переднего угла инструмента на режущей кромке, улучшенные условия течения металла по передней поверхности существенно снижают силовые нагрузки на обрабатываемую заготовку. В отличие от нарезания канавок резьбовым резцом предлагаемый процесс позволяет образовывать полный треугольный профиль за один проход инструмента. В практическом плане метод может быть использован при однопроходном нарезании резьб резцом на пластичных металлах.

Для цитирования: Зубков Н.Н. Однопроходное формирование резьб на пластичных металлах деформирующим резанием // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2019. – Т. 21, № 2. – С. 6–17. – DOI: 10.17212/1994-6309-2019-21.2-6-17.

*Адрес для переписки

Зубков Николай Николаевич, д.т.н., профессор,
Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана
ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1,
105005, г. Москва, Россия
Тел. раб.: +7-499-263-6486,
Тел. моб.: +7-916-607-7948, e-mail: zoubkovn@bmstu.ru

Введение

Технологические методы формирования наружных резьбовых профилей основаны как на процессе пластического деформирования, так и на обработке резанием с удалением стружки [1].

Накатка резьбонакатными плашками и резьбовыми роликами имеет высокую производительность, не имеет отходов и широко используется в массовом и крупносерийном производстве [2]. Однако инструмент для накатывания наружных резьб узко специализирован и предназначен для получения резьбы только одного шага. Использование резьбонакатных роликов и плашек требует сложных приспособлений, имеющих высокую стоимость, поэтому использование накатного инструмента оправдано при изготовлении больших серий однотипных резьб. Существенным недостатком резьбонакатного инструмента является наличие больших радиальных нагрузок [3], что делает невозможным использование данного метода для формирования резьбы на тонкостенных трубных заготовках.

Для средне- и мелкосерийного производства рационально использование резьбонарезных инструментов: плашек, метчиков, резьбовых фрез и резцов. Плашки и метчики узко специализированы и предназначены для нарезания резьб только одного диаметра и шага. Вихревые методы образования резьб [4] широкого распространения не получили. Для изготовления внутренних резьб также используется выдавливание профиля резьбы накатными метчиками. Этот метод требует значительных усилий формообразования, но характеризуется безотходностью и высокими механическими свойствами резьбового профиля вследствие деформационного упрочнения металла [5].

В последние десятилетия все шире используется прогрессивный метод резьбофрезерования. Он основан на использовании относительно универсальных резьбовых фрез, позволяющих нарезать резьбы одного шага разных диаметров [6]. Многие резьбовые фрезы могут быть использованы для нарезания как наружных, так и внутренних резьб [7]. Изготовление резьбофрез требует использования многокоординатного шлифовального оборудования высокой точности, поэтому стоимость даже отечественных резьбовых фрез начинается от \$150. Недостатком этого метода является то, что использование резьбовых фрез возможно только на станках с ЧПУ, имеющих винтовую интерполяцию. Проблемой также является получение резьб высокой точности [8].

Для мелкосерийного производства широко используется нарезание наружных и внутренних

резьб резцом на металлорежущих станках с ручным или программным управлением. Такой способ широко универсален и позволяет с помощью одного инструмента получать резьбу с разными шагами на заготовках разного диаметра. Необходимость многопроходной обработки для получения полного профиля резьбы существенно снижает производительность получения резьб резцами. Для пластичных металлов, таких как медь, деформируемые алюминиевые сплавы, чистый титан, проблемой является получение требуемого качества поверхности резьбы даже при увеличенном количестве проходов резца. Это обусловлено тем, что обработка пластичных металлов требует больших (более 15°) передних углов режущего инструмента [9], что практически сложно организовать одновременно для обеих участвующих в резании кромок резьбового резца [10]. Поскольку процесс резьбонарезания основан на удалении материала впадины резьбы, то невозможно получение резьб на тонкостенных трубах, когда высота профиля резьбы превышает толщину стенки трубной заготовки.

В статье рассматривается теория и практика нового метода формообразования резьб на пластичных металлах, который полностью устраняет вышеперечисленные недостатки традиционного нарезания резьб резцами.

Метод ДР является многофункциональным, безотходным и реализуется по схемам традиционной обработки на стандартном металлорежущем оборудовании. Инструмент для ДР – это резец с рабочей частью, образованной тремя пересекающимися плоскостями (рис. 1). Отличие от обычного токарного резца заключается в специальных геометрических параметрах инструмента, при которых процесс резания возможен только на главной режущей кромке 1 (РК). Вспомогательная режущая кромка инструмента отделять подрезанный слой не способна, она из режущей становится деформирующей кромкой 2 (ДК), поэтому подрезанный слой остается на обрабатываемой поверхности, и его положение определяется проекцией ДК на основную плоскость [11].

Метод ДР имеет различные области использования [12]. Макрорельеф в виде оребрения или штырьков увеличивает площадь обрабатываемой поверхности до 12 раз, что позволяет повысить коэффициент теплоотдачи при исполь-

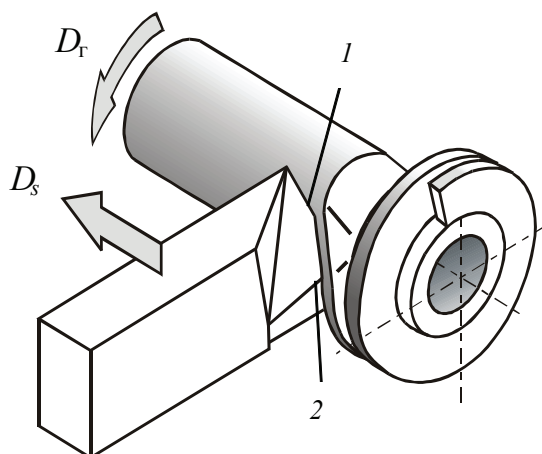


Рис. 1. Принцип деформирующего резания

Fig. 1. Concept of deformational cutting

зовании таких поверхностей в теплообменной аппаратуре [13]. ДР используют при изготовлении капиллярно-пористых структур тепловых труб [14], изготовлении неразъемных соединений [15], фильтрующих труб и микросеток [16]. Апробировано использование ДР для поверхностной закалки [17] и создания самосмазывающихся узлов трения скольжения.

Особое положение передней поверхности резца для ДР, имеющего большой положительный передний угол, может приводить к смене знака составляющих силы резания P_x и P_y [18]. Это означает, что при определенных условиях возможна обработка с минимальной радиальной нагрузкой резца на обрабатываемую заготовку. Это устраняет влияние составляющей P_y на точность обработки и дает принципиальную возможность обработки методом ДР нежестких или тонкостенных деталей резцом для ДР без их радиальных деформаций.

Получение макрорельефа в виде выступов треугольного профиля основано на модификации процесса ДР [19]. В статье рассматриваются некоторые технологические аспекты и результаты исследований данного метода формообразования резьбы. Представленное исследование является продолжением работ по данному направлению.

Простая модификация схемы реализации метода ДР, а именно изменение направления подачи инструмента на противоположное, приводит к качественно новому процессу обработки поверхности. Этот процесс позволяет получить поверхность в виде треугольных выступов симметричного или несимметричного профиля как

на плоских, так и на цилиндрических поверхностях. Для цилиндрических заготовок полученный спиральный рельеф треугольного профиля, по сути, является резьбой. Целью и задачами данной работы является выявление основных закономерностей и особенностей формообразования резьб по методу инверсного деформирующего резания (ИДР), а также выработка научно обоснованных рекомендаций по его практическому использованию.

Методика исследований

Теория процесса инверсного деформирующего резания

Рассмотрим работу инструмента для ДР на плоскости, например при строгании (рис. 2), когда величина подачи инструмента значительно превышает глубину резания. Материал заготовки подрезается режущей кромкой 1. Так как деформирующая кромка 2 инструмента имеет большой отрицательный передний угол и не способна резать, подрезанный слой выдавливается передней поверхностью инструмента в форме гребня на поверхность заготовки.

Анализ влияния величины и направления подачи на формируемый методом ДР рельеф показан на рис. 3. При отсутствии подачи единичный проход инструмента подрежет слой материала

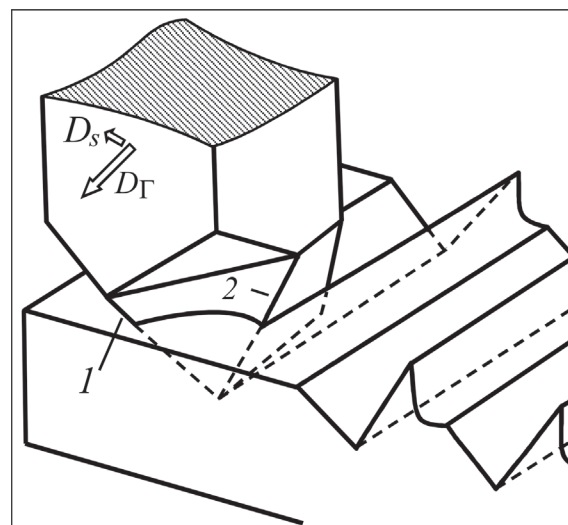


Рис. 2. Схема подрезания слоя материала и выдавливания его в виде гребня на обрабатываемую поверхность инструментом для ДР

Fig. 2. Model of material undercutting and its extruding in form of ridge on the work surface

режущей кромкой 1 и выдавит его в виде гребня на обрабатываемую поверхность. Объем выдавливаемого материала гребня равен объему материала внедренной части инструмента (заштрихован вертикально, рис. 3, а).

При обычном ДР помимо главного движения резания 3 инструмент имеет движение подачи 4

с величиной p , причем подача направлена в сторону режущей кромки (РК) 1, при этом значение подачи p меньше, чем глубина резания t . На рис. 3, б показан процесс ДР с образованием ребер на третьем проходе инструмента. Подрезанный слой (вертикальная штриховка, рис. 3, б) с поперечным сечением в виде параллелограмма отгибается в ранее сформированную канавку, образуя ребро.

Рассмотрим вариант, когда подача инструмента 4 находится в направлении к ДК 2 (рис. 3, в). Величина подачи p больше глубины резания t и выбирается таким образом, чтобы процесс резания проходил при условии максимальной длины AC активного участка РК 1. В этом случае участок AB РК частично срежет ранее образовавшийся гребень, а участок BC РК подрежет слой материала заготовки. Инструмент будет одновременно выдавливать материал на обрабатываемую поверхность в виде гребня таким же образом, как и при однопроводной обработке (см. рис. 1, а). Повторные проходы с величиной подачи p создадут на обрабатываемой поверхности рельеф в виде треугольных выступов и впадин. Выступы превышают высоту исходной поверхности на величину ΔH , т. е. габаритный размер заготовки после обработки увеличивается. Процесс с направлением подачи в сторону не режущей, а деформирующей кромки, показанный на рис. 3, в, является основой формирования резьбы. Этот процесс получил название инверсного деформирующего резания ИДР [19].

В отличие от безотходного метода ДР процесс ИДР сопровождается частичным образованием стружки. При ДР весь материал подрезанного слоя остается на заготовке в виде ребра (см. рис. 1). При ИДР часть образованного гребня удаляется в виде стружки (рис. 3, в). Удаление части металла гребня необходимо для получения треугольного выступа с требуемыми геометрическими размерами и прямолинейными сторонами, необходимыми для их использования в качестве резьбы. Объемная схема формирования треугольного профиля методом ИДР показана на рис. 4, на котором обозначено: 1 – РК; 2 – ДК; 3 и 4 – главное движение резания и движение подачи; 5 – инструмент для ИДР; 6 – заготовка; 7 – формируемый резьбовой профиль; 8 – гребень до его подрезания РК; 9 – удаляемая часть гребня.

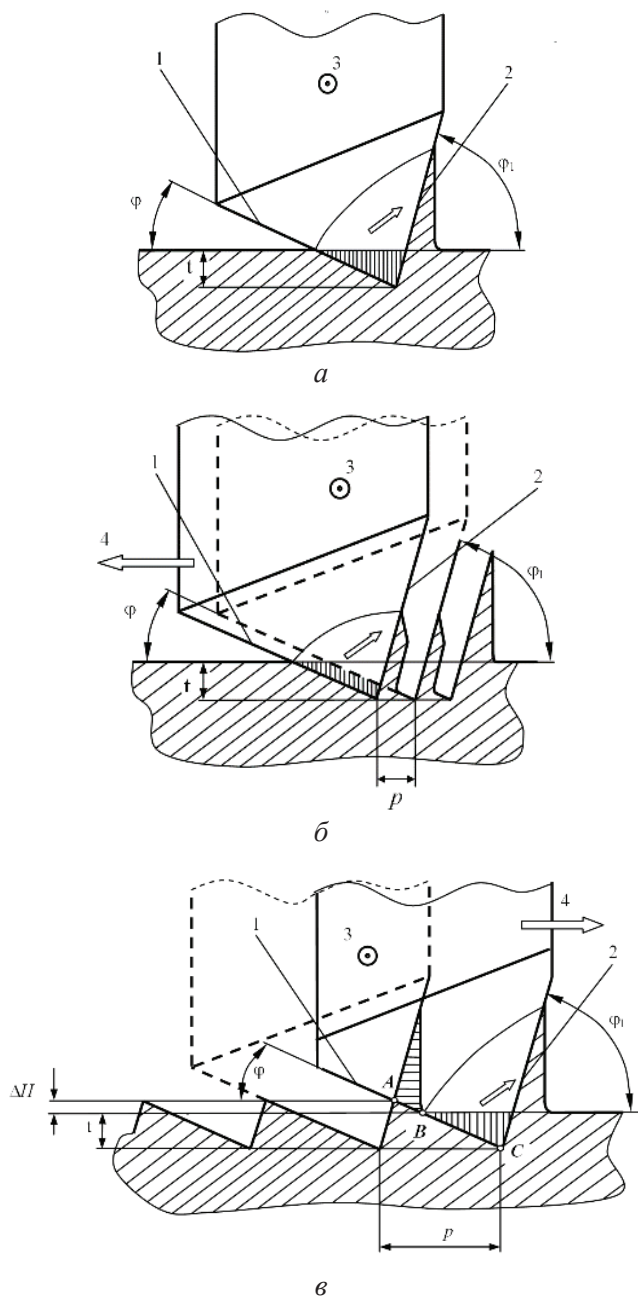


Рис. 3. Влияние направления подачи на форму получаемого макрорельефа:

а – единичный проход инструмента; б – направление подачи в сторону режущей кромки (РК); в – направление подачи в сторону деформирующей кромки (ДК)

Fig. 3. Influence of feed direction on a generated profile: а – single pass of the tool; б – feed direction is to the cutting edge; в – feed direction is to the deforming edge

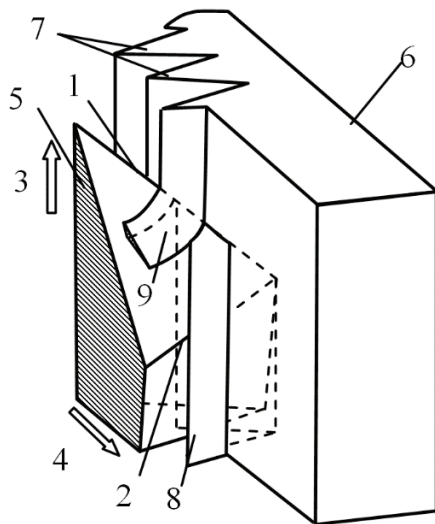


Рис. 4. Схема формирования треугольного профиля методом ИДР

Fig. 4. Concept of thread profile forming using IDC

Выбор технологических режимов обработки для получения резьбового профиля с заданными параметрами

Углы наклона боковых сторон треугольного профиля определяются проекциями РК и ДК на основную плоскость, т. е. главным φ и вспомогательным φ_1 углами инструмента в плане. При равенстве углов φ и φ_1 метод обеспечивает получение симметричных резьбовых профилей. Следует еще раз отметить, что вершины профиля полученных выступов цилиндрических поверхностей – диаметр по вершинам профиля резьбы – больше исходного диаметра заготовки.

При определенном соотношении глубины резания t и величины подачи p удаляется минимальный объем материала ранее полученного выступа при обеспечении формирования полного резьбового профиля. При выводе зависимостей по определению технологических параметров ИДР по критерию минимизации удаляемого материала использовалась схема расчета, представленная на рис. 5. На схеме обозначены требуемые: p – шаг резьбы; d – наружный диаметр резьбы; H – высота профиля резьбы; φ и φ_1 – углы наклона профиля резьбы. При выводе зависимостей использовались следующие допущения: прямолинейность и перпендикулярность свободного края выступа на этапе перед следующим проходом инструмента (линия AB , рис. 5), свободная сторона выступа

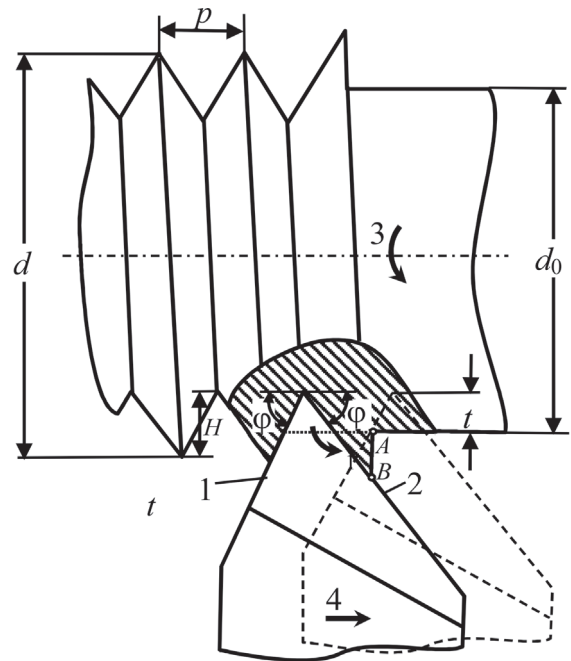


Рис. 5. Схема для расчета параметров ИДР

Fig. 5. Diagram for IDC parameters calculation

не имеет радиуса перехода к обрабатываемой поверхности (отсутствие радиусного скругления в точке A , рис. 5).

Решение для выбора исходного диаметра заготовки d_0 и глубины резания t основано на равенстве объемов материала вытесняемой инструментом части материала объему материала гребня, образующего на поверхности заготовки. Для получения несимметричного резьбового профиля с углами наклона профиля φ и φ_1 при заданном шаге резьбы p глубина резания t должна составлять:

$$t = p \frac{\sqrt{\operatorname{tg} \varphi}}{\sqrt{(\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \varphi_1) + (\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \varphi_1) \sqrt{\operatorname{tg} \varphi}}} \text{ [мм]}.$$

Поскольку высота H получаемого профиля составляет

$$H = \frac{p \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \varphi_1}{\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \varphi_1} \text{ [мм]},$$

то диаметр заготовки d_0 должен быть:

$$d_0 = d - 2(H - t) = d - 2 \left(\frac{p \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \varphi_1}{\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \varphi_1} - t \right) \text{ [мм]}.$$

В большинстве случаев необходимо получение симметричного резьбового профиля, когда $\varphi = \varphi_1$. Для симметричных резьб формулы упрощаются.

Для метрических резьб ($\varphi = \varphi_1 = 60^\circ$):

$$t = \frac{p \operatorname{tg} \varphi}{2 + \sqrt{2}} \text{ [мм]},$$

$$d_0 = d - p \operatorname{tg} \varphi + 2t = d - \frac{p \operatorname{tg} \varphi}{\sqrt{2} - 1} \text{ [мм]}.$$

Для трубных и дюймовых резьб ($\varphi = \varphi_1 = 62,5^\circ$) с заданием шага резьбы через число ниток на дюйм z :

$$t = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{25,4z(2 + \sqrt{2})} \text{ [мм]},$$

$$d_0 = d - \frac{\operatorname{tg} \varphi}{25,4z(\sqrt{2} - 1)} \text{ [мм]}.$$

Условия проведения экспериментов

Эксперименты по проверке теоретических зависимостей проводились на токарно-винторезном станке 16К20 на цилиндрических поверхностях при формообразовании симметричного резьбового профиля. Обрабатываемая заготовка: труба диаметром 20,0 мм и толщиной стенки 1,5 и 2,0 мм. Материал заготовки – медь М2 (примеси не более 0,3 %). Шаги резьб от 0,5 до 2 мм, угол при вершине резьбового профиля 55 и 60°. Использовались инструменты с рабочей частью из твердого сплава ВК8. По выбранным технологическим параметрам нарезался резьбовой профиль, после чего измерялись геометрические характеристики профиля полученной резьбы и структурные изменения металла.

При оптимизации положения передней поверхности инструмента глубина резания составляла $t = 1,1$ мм, величина подачи $S_0 = 2,0$ мм/об при главном φ и вспомогательном φ_1 углах инструмента в плане $\varphi = \varphi_1 = 60^\circ$. Главный и вспомогательный задние углы составляли $\alpha = \alpha_1 = 1,5^\circ$. Изменялись передний угол инструмента γ и угол наклона РК λ .

Точность получаемой резьбы оценивалась по фотографиям шлифов среза резьбового профиля, полученных на инструментальном микроскопе УИМ-23 при увеличении 60 крат.

Макроструктура получаемого резьбового профиля исследовалась по шлифам на металлографическом микроскопе ПМТ-3 при увеличении в 45 раз.

Параметры шероховатости боковых сторон профиля исследовались по профилограммам,

полученным с вертикальным увеличением в 1000 раз на профилографе-профилометре модели 252 завода «Калибр». Измерения проводились в соответствии с ГОСТом [20].

Упрочнение материала резьбового профиля в результате пластических деформаций при его формообразовании оценивалось путем измерения микротвердости в соответствии с ГОСТом [21]. Микротвердость измерялась на поперечном шлифе резьбового профиля М20×2 на приборе ПМТ-3 алмазной пирамидой с двугранным углом при вершине 136°. Нагрузка на пирамиду составляла 100 г.

Результаты и их обсуждение

Целью первого этапа экспериментов было определение диапазонов возможного изменения переднего угла γ и угла наклона РК λ , которые могут быть использованы при ИДР с формированием гребня без отделения стружки и без поломки инструмента.

Так же как и для традиционного ДР, инструмент для ИДР должен обеспечивать процесс резания на РК (т. е. иметь большой положительный передний угол на ней, что особенно важно при обработке пластичных металлов) и обеспечивать условие неотделения подрезанного слоя ДК (т. е. иметь большой отрицательный передний угол на ней). Режущее-деформирующий клин должен иметь достаточную прочность для обеспечения процесса ИДР [18]. Теоретически не представляется возможным найти решение, удовлетворяющее этим взаимоисключающим условиям, поэтому на основе экспериментальных результатов было найдено оптимальное положение геометрических параметров инструмента.

По результатам экспериментов установлено, что процесс ИДР при обработке меди М2 осуществим при изменении переднего угла γ в диапазоне 43...57° и при изменении угла наклона РК λ в пределах 25...41°. Инструмент со значениями γ и λ , превышающими указанные, обладает недостаточной прочностью режущего клина. Инструмент с меньшими углами работает как обычный резец с образованием стружки. Наиболее устойчиво процесс ИДР протекает при значениях углов: $\gamma = 53...57^\circ$ и $\lambda = 34...39^\circ$.

На материалах с низкой прочностью и высокой пластичностью (медь, латунь, алюминиевые

деформируемые сплавы, титан ВТ1-0) предлагаемый метод позволяет устойчиво получать резьбовой профиль за один проход инструмента. При апробации метода на коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т и стали Ст.3 достигнуто формирование полного профиля только на малых шагах резьбы (до 1 мм). При увеличении шага резьбы запаса пластичности этих материалов не хватает для компенсации возросших деформаций, что приводит к отделению формируемого гребня от заготовки в виде стружки по линии проекции ДК инструмента. Реализация метода ИДР на материалах с низкой пластичностью (относительное удлинение меньше 20 %) требует дополнительных мер по увеличению пластичности материала поверхностного слоя заготовки, например путем дополнительного нагрева.

Проверены расчетные формулы выбора технологических параметров обработки. Несоответствие расчетной глубины внедрения инструмента с требуемой для получения заданного диаметра резьбы составило менее 5 %, что вполне допустимо для практики. Это несоответствие обусловлено в первую очередь тем, что в реальных условиях свободный край выступа непрямолинеен вследствие сложного характера деформаций и имеет поднутрение в тело выступа у его основания.

Фотография резьбы М20×1,5, полученная на медной трубе, показана на рис. 6. При глубине резания t меньше расчетной профиль резьбы формируется не полностью. Это хорошо видно на правой стороне фотографии (рис. 6).

Измерения точности полученной резьбы показали, что боковые стороны полученного профиля укладываются в поле допуска стандартной резьбы. Однако полученный резьбовой профиль имеет заостренные впадины и выступы. Заострение впадины может быть устранено закруглением вершины инструмента в плане при заточке инструмента, в то время как острая вершина вы-

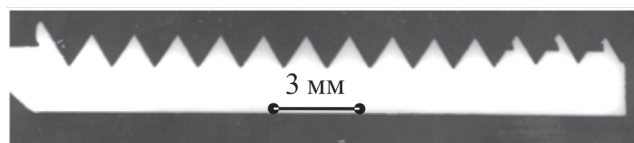


Рис. 6. Фотография среза резьбового профиля, полученного ИДР; медь М2, резьба М20×1,5

Fig. 6. Photo of cross-section of thread profile made IDC; copper М2, thread М20×1.5

ступа органически присуща методу ИДР и не может быть устранена непосредственно в процессе формирования резьбового профиля. Этот недостаток можно устранить дополнительной обточкой полученной резьбы по вершинам резьбового профиля. На практике также отмечено, что при однократном свинчивании резьбы на медных заготовках со стальной ответной внутренней резьбой острые вершины сминаются, приближая полученный ИДР резьбовой профиль к требованиям ГОСТ по скруглению вершин профиля.

Результаты измерения шероховатости боковых сторон представлены в таблице.

Сторона профиля резьбы, получаемая РК, имеет шероховатость $R_z = 16,0$ мкм, что не превышает шероховатость боковых сторон резьбы, например для болтов повышенной точности по ГОСТ 18125–72, по которому допустимая шероховатость составляет $R_z = 20$ мкм. Сторона профиля резьбы, сформированная ДК, имеет зеркальный вид вследствие выглаживания при $R_z = 3,2$ мкм ($R_a = 0,8$ мкм), что соответствует получистовому шлифованию наружных цилиндрических поверхностей [22].

По результатам экспериментов можно сделать следующие заключения. Процесс формообразования боковых сторон резьбового профиля при ИДР принципиально различен. Одна сторона профиля формируется острой РК, которая имеет передний угол $\gamma = 53 \dots 57^\circ$, что способствует улучшенным условиям резания, особенно при обработке пластичных материалов. Вторая сторона профиля формируется ДК инструмента, которая уплотняет и выглаживает материал этой стороны профиля, существенно снижая шероховатость поверхности.

Структура, отражающая течение металла при пластических деформациях в процессе ИДР, показана на фотографии шлифа (рис. 7, а). Материал выступа имеет несколько характерных зон, существенно отличающихся друг от друга, которые показаны на рис. 7, а. Зона 1 имеет структуру вытянутых деформированных зерен, которая обусловлена сильным внутренним и внешним трением при деформации металла в зоне ДК; зона 2 имеет структуру измельченных и частично деформированных зерен, которая обусловлена течением этого объема материала при ИДР; зона 3 – зона недеформированной структуры, совпадающей по строению с исходной структурой

Шероховатость боковых сторон профиля резьбы

Roughness of the sides of the thread profile

Сторона профиля резьбы / The side of thread profile	Параметры шероховатости / Roughness parameters		
	$R_{\max}$, мкм/ μm	R_z , мкм/ μm	S , мкм/ μm
Обработанная РК / Formed by cutting edge	25,0	16,0	125
Обработанная ДК / Formed by deforming edge	5,0	3,2	50

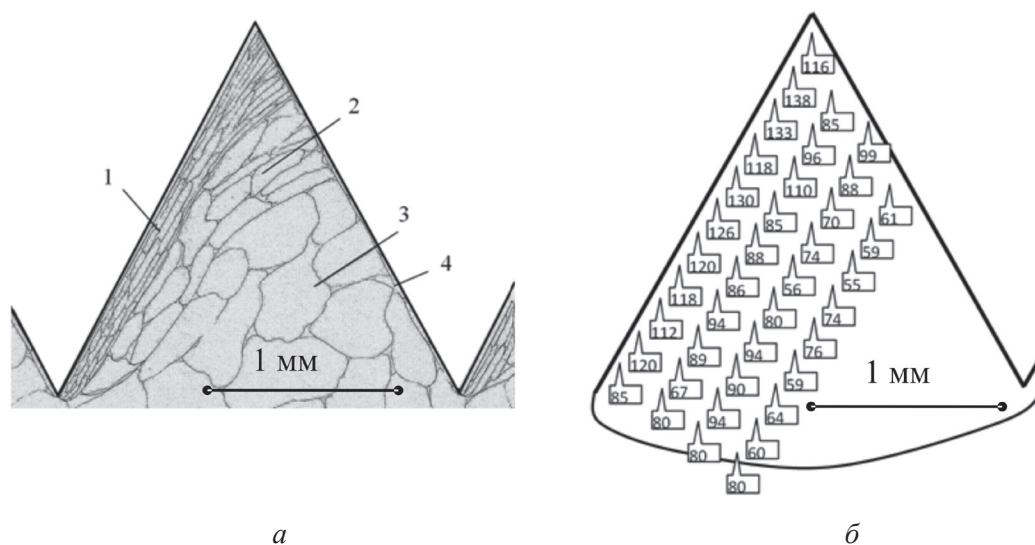


Рис. 7. Шлиф резьбового профиля (а) и распределение микротвердости по его сечению (б); медь М2, резьба М20×2,0

Fig. 7. Metallographic section of thread profile (a) and microhardness distribution across section (b); copper M2, thread M20×2.0

материала заготовки; зона 4 – тонкая зона измельченных и вытянутых зерен материала, обусловленная пластическими деформациями в области РК-инструмента. Эта зона характерна для обычного процесса резания, однако ее толщина существенно меньше вследствие улучшенных условий резания РК, имеющей большой передний угол. Четкие границы между зонами отсутствуют, имеет место плавный переход от одной зоны к другой.

Интенсивные пластические деформации, прошедшие в выступе резьбового профиля, позволяют предположить, что изменилась не только структура металла, но и его физико-механические свойства. Это подтвердилось измерениями микротвердости поперечного шлифа резьбового профиля М20×2, полученного на медной трубе. Полигон измерений микротвердости (рис. 7, б) был выбран таким образом, чтобы в него вошли

все ранее описанные зоны деформации микроструктуры материала. Результаты измерений показали, что наибольшую твердость имеют слои металла, которые контактировали с ДК инструмента. Для материала, отстоящего от этой боковой поверхности профиля на 40 мкм, повышение твердости по сравнению с твердостью исходного материала составило 1,6...2,3 раза. Такое существенное повышение твердости полученного резьбового профиля может играть положительную роль при эксплуатации резьбы, повышает ее износостойкость и контактную прочность. В целом картина изменения микротвердости полностью повторяет картину пластических деформаций, зафиксированную в исследованиях макроструктуры.

Метод ИДР наиболее рационально применить при формообразовании резьб на медных тонкостенных трубах. В настоящее время про-

мышленность в связи со значительной стоимостью меди переходит на использование в теплообменных аппаратах труб с толщиной стенки 1,5 мм. Надежность неразъемного соединения, получаемого развальцовкой гладких концов труб в трубной доске, для тонкостенных труб значительно ниже, чем для труб с толщиной стенки 2,0 мм, использовавшихся ранее. Альтернативным вариантом крепления труб в трубных досках является резьбовое соединение. В то же время малая толщина стенки трубы не позволяет образовать резьбу известными методами.

Метод ИДР на концах теплообменных труб с наиболее широко используемыми диаметрами 16,0 и 20,0 мм позволяет получать трубную резьбу 3/8» и 1/2» соответственно. Таким образом, при исходном диаметре заготовок 16,0 и 20,0 мм метод обеспечивает получение стандартного профиля с диаметром по вершинам 16,66 и 20,96 мм, высотой профиля 0,86 и 1,16 мм соответственно. При исходной толщине стенки 1,5 мм остаточная толщина стенки трубы составит 1 мм (для трубы диаметром 16 мм) и 0,8 мм (для трубы диаметром 20 мм). Сумма остаточной толщины стенки трубы и высоты профиля составляет 1,9 мм, что превышает исходную толщину стенки трубы на 0,4 мм.

Заклучение

Метод получения резьб ИДР занимает промежуточное положение между методами, основанными на процессе резания (удаление материала заготовки) и процессе пластического деформирования. Основное отличие от обычного резьбонарезания резцом состоит в том, что в процессе ИДР присутствует пластическое перераспределение материала из объема впадины в объем гребня.

Основным отличием от накатывания резьбы является то, что в процессе ИДР образуются новые поверхности, характерные процессам резания. Проведенные исследования показали, что в структуре материала резьбового профиля имеются зоны, свойственные как процессам обработки давлением, так и обычному резанию.

Большое значение переднего угла инструмента на РК и улучшенные условия течения металла по передней поверхности существенно снижают силовые нагрузки на обрабатываемую

заготовку. В отличие от нарезания канавок резьбовым резцом предлагаемый процесс позволяет образовывать полный треугольный профиль за один проход инструмента.

В практическом плане метод может быть использован при нарезании резьб на пластичных металлах. Предложенные расчетные зависимости выбора технологических параметров обработки, проверенные экспериментально, позволяют получать резьбовые профили с заданными геометрическими характеристиками.

Список литературы

1. Black J.T., Kohser R.A. DeGarmo's materials and processes in manufacturing. – New York: John Wiley & Sons, 2011. – 1184 p. – ISBN 0470924675.
2. Jones F.D. Thread-cutting methods: a treatise on the operation and use of various tools and machines for forming screw threads, including the application of lathes, taps, dies, standard and special attachments, thread-milling machines, and thread-rolling machines. – Sacramento: Creative Media Partners, 2018. – 358 p. – ISBN-10: 066644692X. – ISBN-13: 9780666446923.
3. Heiler R. Cold Thread Forming – the chipless alternative for high resistant internal threads // MATEC Web Conference. – 2018. – Vol. 251. – Art. 02046. – DOI: 10.1051/mateconf/201825102046.
4. Klocke F. Manufacturing processes. 1. Cutting. – Berlin: Springer-Verlag, 2011. – 504 p. – ISBN 978-3-642-11978-1.
5. Кудряшов Е.А., Смирнов И.М. Скоростное фрезерование резьбы вращающимися резцами // Обработка металлов (технологии, оборудование, инструменты). – 2013. – № 1 (58). – С. 4–8.
6. Danilenko B.D. Cutting conditions for thread mills // Russian Engineering Research. – 2015. – Vol. 35 (1). – P. 76–77. – DOI: 10.3103/S1068798X15010098.
7. Mal'kov O.V. Precision of the external thread profile in thread cutting // Russian Engineering Research. – 2013. – Vol. 33 (3). – P. 172–175. – DOI: 10.3103/S1068798X1303012X.
8. Vishal A., Fromentin G., Poulachon G. Modeling of interferences during thread milling operation // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2010. – Vol. 49 (1). – P. 41–51. – DOI: 10.1007/s00170-009-2372-5.
9. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 2 / В.Н. Андреев, А.Н. Афонин, В.Ф. Безъязычный [и др.]. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Инновационное машиностроение, 2018. – 817 с. – ISBN 978-5-6040281-7-9.
10. Технология машиностроения. Методы обработки резьб / В.В. Клепиков, А.М. Кузнецов,

А.С. Лобанов, А.Д. Максимов, В.Г. Якухин. – М.: Форум, 2007. – 95 с. – ISBN 978-5-91134-164-0.

11. Зубков Н.Н., Васильев С.Г., Попцов В.В. Особенности закалочного деформирующего резания // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2018. – Т. 20, № 2. – С. 35–49. – DOI: 10.17212/1994-6309-2018-20.2-35-49.

12. Kukowski R. MDT – micro deformation technology // Proceedings of ASME 2003 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. – Washington, 2003. – P. 305–308. – DOI: 10.1115/IMECE2003-42861.

13. Heat transfer and crisis phenomena at boiling of refrigerant films falling down the surfaces obtained by deformational cutting / O. Volodin, N. Pecherkin, A. Pavlenko, N. Zubkov // Interfacial Phenomena and Heat Transfer. – 2017. – Vol. 5 (3). – P. 215–222. – DOI: 10.1615/InterfacPhenomHeatTransfer.2018025507.

14. Investigation of heat transfer in evaporator of microchannel loop heat pipe / A. Yakomaskin, V. Afanasiev, N. Zubkov, D. Morskoy // Journal of Heat Transfer. – 2013. – Vol. 135 (10). – Art. 101006. – DOI: 10.1115/1.4024502.

15. Novel electrical joints using deformation machining technology. Pt. 2. Experimental verification / L. Solovyeva, N. Zubkov, B. Lisowsky, A. Elmoursi // IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology. – 2012. – Vol. 2 (10). – P. 1718–1722. – DOI: 10.1109/TCPMT.2012.2199755.

16. Zubkov N.N., Sleptsov A.D. Influence of deformational cutting data on parameters of polymer slotted screen pipes // Journal of Manufacturing Science and Engineering. – 2016. – Vol. 138 (1). – P. 011007-1–011007-7. – DOI: 10.1115/1.4030827.

17. Патент 2556897 Российская Федерация. Способ поверхностного закалочного упрочнения режущее-деформирующим инструментом / Н.Н. Зубков, С.Г. Васильев, В.В. Попцов. – № 2014101642; заявл. 21.01.2014; опубл. 20.07.2015.

18. Zubkov N., Ovtchinnikov A., Vasil'ev S. Tool–Workpiece interaction in deformational cutting // Russian Engineering Research. – 2016. – Vol. 36 (3). – P. 209–212. – DOI: 10.3103/S1068798X16030217.

19. Зубков Н.Н., Овчинников А.И. Формообразование резбовых профилей методом инверсного деформирующего резания // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2003. – № 5. – С. 33–44.

20. ГОСТ 2789–73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. – Взамен ГОСТ 2789–59; введ. 01.01.75. – М.: Стандартиформ, 2018. – 6 с.

21. ГОСТ 9450–76. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников. – Введ. 01.01.77. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 34 с.

22. Davim J.P. Surface integrity in machining. – London: Springer-Verlag, 2010. – 215 p. – ISBN 978-1-84842 873-5.

Конфликт интересов

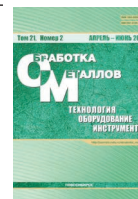
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

© 2019 Автор. Издательство Новосибирского государственного технического университета. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



Obrabotka metallov - Metal Working and Material Science

Journal homepage: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Single Pass Formation of Threads on Ductile Metals by Deformational Cutting

Nikolai Zubkov^{a, *}

Bauman Moscow State Technical University, 5 Baumanskaya 2-ya, Moscow, 105005, Russian Federation

^a <http://orcid.org/0000-0003-3757-1299>, zoubkovn@bmstu.ru

ARTICLE INFO

Received: 15 March 2019
Revised: 08 April 2019
Accepted: 17 April 2019
Available online: 15 June 2019

Keywords:

Thread
Threading
Thread cutter
Threaded profile
Deformational cutting

Funding

This work was supported by the Ministry of Education and Science of Russia (Grant № 9.5617.2017/VU).

Acknowledgements

The author are grateful to *Evgenij Loginov* for the help in carrying out experiments and *Alexander Ovchinnikov* for discussion of the received results.

ABSTRACT

Introduction. Threads manufacturing in mass production is based on non-waste methods of plastic deformation. For medium-and small-scale production, methods of thread cutting with taps, dies, thread chasers, thread mills, thread cutters have become widespread. For all known methods of thread cutting, the problem is to obtain threads on the material with high plasticity, especially on thin-walled tubes. A universal method of obtaining threads of various diameters and pitches is threading on lathes using thread cutters. A significant disadvantage of threading by cutters is the multi-pass processing, which significantly reduces productivity. There is a relatively new method of deformational cutting (DC) based on both the cutting process and the process of deformation of the undercut layer. In the article, the modification of the DC method is considered as an alternative to the traditional cutter threading based on the material removal from the thread grooves. **The purpose of the work:** approbation of the DC method as a method of obtaining threads on ductile metals in one pass of the tool with a minimum amount of material to be removed as a chip. **The tasks of the work:** theoretical analysis of the process of redistribution of material in the process of DC, identification of the main laws and features of thread formation, analysis of the threads obtained. In this paper, the outer threading of copper tubes by the DC method but having tool feed to the deforming edge is studied. **Methods of research** are the analysis of geometric parameters obtained threads and metallographic studies, including the measurement of the distribution of hardness on the threaded profile. **Results and discussion.** For DC uses a special tool that provides the cutting process of the main cutting edge, and eliminates the cutting process on the auxiliary edge, which is deforming edge. In DC process the layer cut by the cutting edge is squeezed out onto the treated surface in the form of a ridge, which takes the final shape of the threaded profile on the next turn of the workpiece. **Conclusions:** Theoretically justified and experimentally confirmed the designation of processing parameters to obtain a threaded profile of the required geometry. The proposed method of obtaining threads mediate between the methods based on the cutting process (removal of the workpiece material) and the process of plastic deformation. The main difference from conventional thread cutting is that in the process of DC there is a plastic redistribution of the material from the volume of the thread grooves to the volume of the thread ridge. The main difference from the thread rolling is that in DC new surfaces are formed, which is peculiar for the cutting processes. In the structure of the material of the threaded profile there are zones common for both processes of plastic deformation and conventional cutting. The large value of tool rake angle on the cutting edge and improved metal flow conditions on the tool face significantly reduce the load on the workpiece to be processed. In contrast to grooving with a threaded cutter, the proposed process allows threading in a single pass of the tool. **In practical terms,** the method can be used for single-pass cutting of threads with a cutter on ductile metal.

For citation: Zubkov N.N. Single pass formation of threads on ductile metals by deformational cutting. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty)* = *Metal Working and Material Science*, 2019, vol. 21, no. 2, pp. 6–17. DOI: 10.17212/1994-6309-2019-21.2-6-17. (In Russian).

References

1. Black J.T., Kohser R.A. *DeGarmo's materials and processes in manufacturing*. New York, John Wiley & Sons, 2011. 1184 p. ISBN 0470924675.
2. Jones F.D. *Thread-cutting methods: a treatise on the operation and use of various tools and machines for forming screw threads, including the application of lathes, taps, dies, standard and special attachments, thread-milling machines, and thread-rolling machines*. Sacramento, Creative Media Partners, 2018. 358 p. ISBN-10: 066644692X. ISBN-13: 9780666446923.

* Corresponding author

Zubkov Nikolai N., D.Sc. (Engineering), Professor
Bauman Moscow State Technical University
5 Baumanskaya 2-ya, Moscow, 105005, Russian Federation
Tel.: +7-916-607-7948, e-mail: zoubkovn@bmstu.ru

3. Heiler R. Cold Thread Forming – the chipless alternative for high resistant internal threads. *MATEC Web Conference*, 2018, vol. 251, art. 02046. DOI: 10.1051/mateconf/201825102046.
4. Klocke F. *Manufacturing processes. 1. Cutting*. Berlin, Springer-Verlag, 2011. 504 p. ISBN 978-3-642-11978-1.
5. Kudryashov E.A., Smirnov I.M. Skorostnoe frezerovanie rez'by vrashchayushchimisya reztsami [High-speed milling of the thread by rotating cutters]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2013, no. 1 (58), pp. 4–8.
6. Danilenko B.D. Cutting conditions for thread mills. *Russian Engineering Research*, 2015, vol. 35 (1), pp. 76–77. DOI: 10.3103/S1068798X15010098.
7. Mal'kov O.V. Precision of the external thread profile in thread cutting. *Russian Engineering Research*, 2013, vol. 33 (3), pp. 172–175. DOI: 10.3103/S1068798X1303012X.
8. Vishal A., Fromentin G., Poulachon G. Modeling of interferences during thread milling operation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2010, vol. 49 (1), pp. 41–51. DOI: 10.1007/s00170-009-2372-5.
9. Andreev V.N., Afonin A.N., Bez'yazychnyi V.F., et al. *Spravochnik tekhnologa-mashinostroitel'ya*. V 2 t. T. 2 [Handbook of mechanical engineer. In 2 vol. Vol. 2]. 6th ed. Moscow, Innovatsionnoe mashinostroenie Publ., 2018. 817 p. ISBN 978-5-6040281-7-9.
10. Klepikov V.V., Kuznetsov A.M., Lobanov A.S., Maksimov A.D., Yakukhin V.G. *Tekhnologiya mashinostroeniya. Metody obrabotki rez'b* [Engineering technology. Methods to threads making]. Moscow, Forum Publ., 2007. 95 p. ISBN 978-5-91134-164-0.
11. Zubkov N.N., Vasil'ev S.G., Poptsov V.V. Features of quench deformational cutting. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2018, vol. 20, no. 2, pp. 35–49. DOI: 10.17212/1994-6309-2018-20.2-35-49. (In Russian).
12. Kukowski R. MDT – micro deformation technology. *Proceedings of ASME 2003 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*. Washington, 2003, pp. 305–308. DOI: 10.1115/IMECE2003-42861.
13. Volodin O., Pecherkin N., Pavlenko A., Zubkov N. Heat transfer and crisis phenomena at boiling of refrigerant films falling down the surfaces obtained by deformational cutting. *Interfacial Phenomena and Heat Transfer*, 2017, vol. 5 (3), pp. 215–222. DOI: 10.1615/InterfacPhenomHeatTransfer.2018025507.
14. Yakomaskin A., Afanasiev V., Zubkov N., Morskoy D. Investigation of heat transfer in evaporator of microchannel loop heat pipe. *Journal of Heat Transfer*, 2013, vol. 135 (10), art. 101006. DOI: 10.1115/1.4024502.
15. Solovyeva L., Zubkov N., Lisowsky B., A. Elmoursi. Novel electrical joints using deformation machining technology. Pt. 2. Experimental verification. *IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology*, 2012, vol. 2 (10), pp. 1718–1722. DOI: 10.1109/TCPMT.2012.2199755.
16. Zubkov N.N., Sleptsov A.D. Influence of deformational cutting data on parameters of polymer slotted screen pipes. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 2016, vol. 138 (1), pp. 011007-1–011007-7. DOI: 10.1115/1.4030827.
17. Zubkov N.N., Vasil'ev S.G., Poptsov V.V. *Sposob poverkhnostnogo zakalochnogo uprochneniya rezhushche-deformiruyushchim instrumentom* [Method of quenching using cutting-deforming tool]. Patent RF, no. 2556897, 2015.
18. Zubkov N., Ovchinnikov A., Vasil'ev S. Tool–workpiece interaction in deformational cutting. *Russian Engineering Research*, 2016, vol. 36 (3), pp. 209–212. DOI: 10.3103/S1068798X16030217.
19. Zubkov N.N., Ovchinnikov A.I. Formoobrazovanie rez'bovykh profilei metodom inversnogo deformiruyushchego rezaniya [Forming of threaded profiles by the method of inverse deformational cutting]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie – Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2003, no. 5, pp. 33–44.
20. GOST 2789–73. *Sherokhovatost' poverkhnosti. Parametry i kharakteristiki* [State standard 2789–73. Surface roughness. Parameters and characteristics]. Moscow, Standartinform Publ., 2018. 6 p.
21. GOST 9450–76. *Izmerenie mikrotverdosti vdavlivaniem almaznykh nakonechnikov* [State standard 9450–76. Measurement microhardness by diamond instruments indentation]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1993. 34 p.
22. Davim J.P. *Surface integrity in machining*. London, Springer-Verlag, 2010. 215 p. ISBN 978-1-84842 873-5.

Conflicts of Interest

The author declare no conflict of interest.