

УДК 621.81.001.66(075.8)

## **Применение воздушно-плазменной резки при изготовлении винтовых и шнековых заготовок деталей типа шнеков**

Васьлькив В.В.

В структуре технологического маршрута изготовления деталей типа шнеков самым ответственным и сложным этапом является образование винтовых и шнековых заготовок. Впервые предложен эффективный способ изготовления таких заготовок в условиях единичного, серийного и массового производств, реализуемый путем воздушно-плазменной резки по спирали толстостенных трубных и штучных полых заготовок. Он позволяет получать винтовые и шнековые заготовки из металлических и полимерных материалов, обработка которых давлением и резанием затруднена. Определены условия рационального использования созданной технологии. Предложенные технические решения позволяют осуществить изготовление деталей типа шнеков: рабочих органов винтовых смесителей, сепараторов, прессов, измельчителей, центрифуг, шнековых транспортеров, винтовых протяжек, резцов, винтовых свай, анкером, буров, шнековых роторов насосов, шнековых плугов и т.д.

*Ключевые слова:* винтовые заготовки, шнековые заготовки, деталь типа шнек, воздушно-плазменная резка.

## **The application of air plasma cutting process for manufacturing screw and auger blanks**

Vasylykiv V.V.

In the technological route structure of manufacturing screw parts the formation of screw and auger blanks is considered to be the most critical and complicated stage. For the first time, an effective technique to manufacture these blanks in order-, serial- and mass production has become possible when using air plasma cutting process along the helix of thick-walled pipes and single hollow blanks. Applying this technique, metal and polymer screw and auger blanks can be manufactured, which were difficult to process by pressing and cutting. The provisions for the efficient use of the new technology are considered. The technical solutions under discussion make it possible to manufacture a number of screw blanks, including working parts of screw mixers, separators, presses, shredders, centrifuges, screw conveyors, screw broaches, cutters, screw piles, anchors, drills, screw pump rotors, screw plows, etc.

*Keywords:* screw flights, screw blanks, screw part, air plasma cutting.

### **Введение**

В современном машиностроении широко используют детали типа шнеков в качестве: рабочих органов винтовых смесителей, измельчителей, грануляторов, питателей, сепараторов, шнековых транспортеров и винтовых спусков в строительной, пищевой, перерабатывающей промышленности и сельскохозяйственном машиностроении; ребристых труб и винтовых элементов теплообменных аппаратов и систем воздушного охлаждения в нефтехимической, газовой, энергетической промышленности; винтовых свай, анкером и буров в строительстве и других отраслях. Основ-

ными общими конструктивными и технологическими признаками таких деталей является наличие витков, расположенных по винтовой поверхности в продольном направлении с большим шагом.

В структуре технологического маршрута изготовления деталей типа шнеков ответственным и самым сложным этапом является образование винтовых (ВЗ) и шнековых заготовок (ШЗ). Понятия "Винтовые" и "Шнековые" заготовки применяют к полуфабрикатам, которые характеризуются винтовыми волокнами и наличием винтового тела, т.е. винтовыми поверхностями и винтовыми внешними

и внутренними ребрами различных конфигураций и направления навивки. По конструктивному признаку ШЗ бывают цельными, когда витки шнеков выполнены за одно целое с валом, и сборными, в которых ВЗ, выполненная в форме винтообразной ленты, приварена ручной или автоматической сваркой к цельному или пустотелому валу (трубе).

К настоящему времени в технологии металлообработки сформировался значительный массив многообразий вариантов формообразования ВЗ и ШЗ способами литья металлов и сплавов, обработки резанием, сборки и обработки металлов давлением [1]. Однако в ряде случаев использование существующих методов экономически и технологически нецелесообразно. Например, при изготовлении ШЗ фрезерованием цилиндрических заготовок из высокопрочных материалов, учитывая невысокую жесткость используемого инструмента (концевых фрез малого диаметра) и нарезаемых лопастей, наблюдается дробление обрабатываемой поверхности лопасти. Использование способов формовки, навивки и прокатки ограничено физико-механическими свойствами материала (формообразование возможно из высокопластических материалов). Технологическое оборудование предприятия не всегда допускает возможность реализации комбинированного способа непрерывного литья-прокатки расплавленного металла.

Целью работы является разработка способа изготовления ВЗ и ШЗ из труднообрабатываемых материалов.

### Результаты исследования

Технология плазменной резки металла в настоящее время широко используется для изготовления из листового проката разверток витков секционных ВЗ [2]. В качестве плазмообразующих газов применяют аргон, гелий, азот, водород, аммиак, кислород, воздух и некоторые другие смеси газов. Наибольшее применение получила резка на основе использования плазмы кислородосодержащего сжатого

воздуха (воздушно-плазменная резка (ВВП)) [3].

Накопленный опыт показал технико-экономические преимущества и перспективность рассматриваемого метода.

В результате проведенных исследований нами установлена целесообразность использования такого метода резки для формообразования ВЗ и ШЗ. Воздушно-плазменная резка - метод электрофизической обработки металла, при котором в качестве режущего инструмента используется струя плазмы и воздух в качестве плазмообразующей среды.

Сущность такой технологии заключается в локальном интенсивном расплавлении (проплавлении) разрезаемого металла в объеме полости реза теплотой, генерируемой сжатой дугой, с одновременным непрерывным удалением жидкого металла из полости реза сжатым воздухом, вытекающим из канала сопла плазмотрона. При этом дугу перемещают относительно обрабатываемой заготовки по винтовой траектории, полученной вследствие реализации кинематической суммы линейного и вращательного движений.

В процессе изготовления таких заготовок можно использовать способы разделительного и поверхностного формообразования. Формообразование ВЗ происходит разделительным способом вследствие сквозного проплавления (прорезки) по винтовой траектории цилиндрического полого обрабатываемого материала (трубного проката или полой штучной заготовки) или начальной ВЗ, предварительно изготовленной способом гибки полосы на ребро. При этом плазмотрон медленно перемещают вдоль планируемой винтовой линии разреза цилиндрической или начальной ВЗ.

Формообразование ШЗ происходит поверхностным способом путем частичного среза материала по винтовой траектории с поверхности цилиндрической полой заготовки с образованием винтовой канавки.

При этом для обоих способов возможны два варианта расположения вектора направле-

ния удалении жидкого металла из полости реза: перпендикулярно или под углом к продольной оси заготовки; касательно к диаметру расположения внутренней кромки витка под углом  $\alpha$  подъема винтовой линии (винтовой оси) витка на диаметре винтовой оси.

Указанные способы целесообразно использовать при формообразовании ВЗ и ШЗ из полых штучных заготовок и особого вида трубного металлопроката, характеризующегося малым соотношением внешнего и внутреннего диаметра (менее 6 – особо толстостенные трубы, от 6 до 12,5 – толстостенные). Документы, регулирующие нормы производства стальных толстостенных труб: ГОСТ 8734-75, ГОСТ 8732-78, ТУ 14-161-184-2000, ТУ 14-3Р-44-2001, ТУ 14-3Р-50-2001, ТУ 14-3Р-55-2001.

Практика изготовления ВЗ показывает, что значительная доля перерабатываемого материала приходится на такие распространенные стали как Ст3пс и 08кп. При использовании же предложенного способа, ВЗ и ШЗ можно получать из материалов, из которых изготавливают толстостенные трубы. А именно: из углеродистой стали марок 10, 20, 20Х; легированной стали марок 09Г2С, 30ХГСА, 15Х5М; сплавов цветных металлов (жаропрочных и хмистойких).

Таким образом, существует возможность использования менее распространённых, сталей (например, 09Г2С), обладающих лучшими антикоррозийными свойствами. Резке плазмой, без перенастройки оборудования, одинаково хорошо поддается как горячекатаный, так и холоднокатаный металлопрокат.

Например, качественные ВЗ с разным шагом витков, высотой витка 50 мм и внешними диаметрами 430 мм, 485 мм и 555 мм, а также с шириной витка 44 мм и внешними диаметрами 164мм, 351мм, 377мм, 408мм и 450мм можно изготавливать из сталей Ст.3, 10-20, 09Г2С, 45, 40Х, 30ХГСА.

Так как по форме сечения изготавливают круглые, прямоугольные, квадратные, оваль-

ные и др. трубы, то можно из них получать ВЗ и ШЗ соответствующей формы.

При использовании полых штучных заготовок значительно расширяется номенклатура и типоразмеры получаемых изделий. А так как температура плазмы достигает десятков тысяч градусов, то это позволяет резать любые металлы и их сплавы, в том числе углеродистую, нержавеющую и высоколегированную стали, чугун, медь, латунь, бронзу, алюминий, титан, полимерные материалы, а также биметаллы.

Однако изготовление указанным способом рассматриваемых заготовок из меди, алюминия и их сплавов нецелесообразно. Поскольку такие материалы обладают высокой теплопроводностью и теплоемкостью, то для их обработки требуется более мощная дуга, чем для разрезания сталей. Вследствие этого, например, при ВПР меди на кромках винтовой спирали образуются излишки металла (грат). Скорость резки является очень низкой и составляет от 0,3м/мин до 0,7м/мин для формообразования спиралей с шириной витка от 30мм до 60мм. Резка латуни происходит с большей на 20-25% скоростью реза. Хорошее качество реза обычно достигается лишь для случая ВЗ из алюминия с шириной витка до 30 мм при силе тока 200А, хотя можно получать винтовые изделия из алюминия и сплавов на его основе с толщиной витка до 120 мм, изделия из меди с толщиной витка до 80 мм. Кроме того, при изготовлении ВЗ из меди и алюминия необходимо использовать специальную плазмообразующую среду (азот или азотно-водородные и аргоно-водородные смеси). Также экономически невыгодно использовать предложенную технологию для изготовления ВЗ и ШЗ из сталей общего назначения по ГОСТ380-88: Ст.3, Ст.0, конструкционных углеродистых сталей по ГОСТ1050-74: 08, 08кп, 10, 45, сталей повышенной и высокой обрабатываемости резанием по ГОСТ1414-75: АС12ХН, АС14ХГН, АС30ХМ, АС40ХГНМ. Винтовые и шнековые заготовки из таких материалов

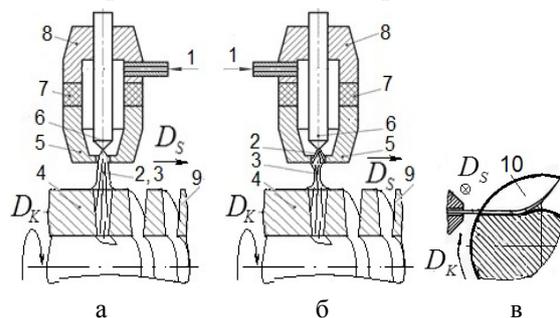
нужно изготавливать менее энергозатратными способами навивки, формовки, прокатки или обработки резанием.

Следовательно, технологию целесообразно использовать при изготовлении заготовок из сталей, обработка которых давлением и резанием затруднена. К таким материалам принадлежат высоколегированные, коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные стали по ГОСТ 5632-72. Примером могут быть высокопрочные стали 30X5M2CF, X18K8MT, H18K8M5T, аустенитно жаропрочные стали марок 08X18H10T, 08X23H18, 09X14H19V2BP, 09X14H16B, 4X14H14B2M.

Теоретически возможны и другие способы изготовления ВЗ и ШЗ резкой толстостенных полых изделий (механическая; водо абразивная; электроэрозсионная; газокислородная; автогенная; электродуговая; лазерная). Но, по сравнению с газовой, лазерной, вибрационной резкой, электродуговой строжкой, резкой на ножовочных, круглопильных, токарно-отрезных станках и ножницах, процесс воздушно-плазменной резки имеет преимущества: большую (в 2-3 раза) скорость резки металлов малых и средних толщин (до 50мм) по сравнению с другими термическими способами резки; значительное уменьшение термических деформаций разрезаемого изделия; не деформируются кромки полученного витка, а остатки металла легко удаляются с места обработки; на качество работы практически не влияют основные недостатки металлического изделия (ржавчина, грязь или краска); рез получается ровным, без наплывов и перекаливания; стоимость плазменной резки в среднем в 4 раза ниже лазерной; безопасность работы из-за отсутствия газовых баллонов, горючих экологически вредных газов и т.д. Кроме того, например, лазерная резка металла плохо справляется с толщиной резки нержавеющей стали до 6-8 мм (это обусловлено отражающими свойствами нержавеющей стали).

В зависимости от вида материала ВЗ и ШЗ можно использовать две схемы плазмообразо-

вания (рис.1). В первом случае создают дугу прямого действия, возбуждаемую на обрабатываемом металле, являющемся одним из электродов разряда. При этом используется энергия одного из приэлектродных пятен дуги, и энергия плазмы столба, и вытекающего из него факела. Поэтому резку по такой схеме называют плазменно-дуговой. Ее необходимо применять при изготовлении ВЗ и ШЗ из металлов, поскольку полезная мощность сжатой дуги реализуется в частях разряда, вынесенных за пределы наконечника (рис. 1а, в).



**Рис. 1.** Схемы плазмообразования при изготовлении ВЗ (а и б) и ШЗ (в): а - плазменная дуга; б - плазменная струя; 1 – подача газа; 2 – дуга; 3 – струя плазмы; 4 – обрабатываемая полая заготовка; 5 – наконечник; 6 – катод; 7 – изолятор; 8 – катодный узел; 9 – ВЗ; 10 – виток ШЗ.

Во второй схеме (рис. 1 б), соответствующей косвенной (независимой) дуге, объект обработки не включают в электрическую цепь. Вторым электродом сжатой дуги служит формирующий наконечник плазмотрона. Поток плазмы, вытекая из сопла, образует свободную струю плазмы. Для резки используется только энергия плазменной струи (резка плазменной струей). Такой способ необходимо применять при формообразовании рассматриваемых заготовок из неметаллических материалов.

Плазменная резка металла производится при помощи оборудования, состоящего из источника тока, блока аппаратуры, ручного или механизированного плазмотрона, устройства механизации перемещения. Реализация перемещения осуществляется на станках, позволяющих осуществлять кинематическую сумму

линейного и вращательного движения заготовки относительно инструмента. Например, на токарных станках (плазматрон устанавливается на суппорте, обеспечивающем равномерное его перемещение) с использованием приспособлений на подобии люнета. Резак устанавливают на суппорте станка. При изготовлении ВЗ в полости заготовки необходимо установить защитный кожух для предотвращения попадания продуктов резки на внутреннюю кромку полученной спирали. Яркая плазменная дуга ослепляет окружающих и является источником шума, поэтому на стационарных машинах резак должен заключаться в светозащитный кожух.

Технологический процесс производства ВЗ и ШЗ способом ВПР может осуществляться в цеховых, монтажных или полевых условиях, в ручном или автоматическом режимах, при нахождении изделий в любом пространственном положении. Плазмообразующий и охлаждающий сжатый воздух, находящийся под давлением 3,5-6,0 атм., может быть получен от индивидуального компрессора или из имеющейся цеховой магистрали.

Большие возможности предоставляет внедрение станков с ЧПУ для плазменной фасонной резки. Также модернизация оборудования для резки труб предоставляет значительные возможности изготовления рассматриваемых заготовок.

Создание плазмотронов типа ПВ, работающих на обратной полярности тока, открывает большие возможности расширения области применения плазменно-дуговой резки металлов, в частности, для получения стальных ВЗ с толщиной витка от 0,1 м до 0,2 м.

Для снижения уровня шума при изготовлении указанных заготовок, вызванного вследствие истечения газа из плазматрона с околозвуковыми скоростями, можно применять метод плазменной резки с водяной завесой. При этом обрабатывают цилиндрическую заготовку полупогруженную в водяную ванну. В

процессе резания используют дополнительный плотный водяной экран вокруг плазменной дуги, который создается за счет специальной насадки, закрепленной на плазматроне. Вода уменьшает излучения при резке и охлаждает кромки обрабатываемого металла, что сводит к минимуму зону термического влияния.

В составе назначаемых режимов и условий резки указывают рабочую плазмообразующую среду, рабочий ток плазменной дуги, диаметр и длину сопла, расход рабочей среды (давление плазмообразующего воздуха), расстояние от рабочего торца плазматрона до поверхности металла, а также рабочее напряжение дуги и скорость резки. Последняя определяется параметрами винтового движения плазматрона относительно заготовки.

Выбор режима резания при изготовлении ВЗ и ШЗ зависит от: типа материала; ширины, толщины и шага витка спирали; диаметра сопла; средней ширины реза; скорости обработки и других параметров. Такие параметры влияют в основном на качество резки – при подборе верного варианта витков не деформируется, не становится более хрупким, практически не формируется окалина, не происходит перегрев металла.

Например, при изготовлении ВЗ с шириной витка 35-50мм из стали 12Х18Н10Т в случае использования диаметра сопла 3 мм, силы тока 290-310А, и напряжения 180-200В, расход воздуха 50-60л/мин, скорость резки 0,5-0,7м/мин, расстояние между витками 5-7мм.

Зазор между соплом плазматрона и заготовкой влияет на скос кромок реза: чем больше зазор, тем больше угол скоса кромки реза. Оптимальное расстояние от среза сопла до поверхности обрабатываемого изделия не превышает 10-15 мм. Расстояние между поверхностью разрезаемого металла и торцом наконечника резака должно оставаться постоянным.

Технологический процесс ВПР включает в себя следующие переходы: врезание, вырезка винтовых элементов и завершение реза. Для

образования качественных ВЗ дугу нужно направлять вниз и обычно под прямым углом к продольной оси полой заготовки. Запуск плазматрона осуществляется на вращающуюся трубу, поскольку при запуске плазматрона над неподвижной трубой с последующим включением ее механизма вращения образовывается выемка в месте врезки диаметром больше ширины реза.

При изготовлении ШЗ иногда первоначально вырезают на полой заготовке канавку под углом направления винтовой линии и глубиной равной ширине витка (рис. 1 в). Канавка может быть получена одновременным снижением скорости резки и вертикальным перемещением плазматрона, наклоненного под углом к продольной оси заготовки вдоль направления винтовой линии. На этом этапе рекомендуется уменьшить обжатие дуги, что должно предотвратить обрыв дуги и позволить анодному пятну перемещаться по боковым поверхностям реза на большую глубину. С этой целью необходимо уменьшить на 1-2мм длину канала сопла плазматрона, увеличить на 1–2мм диаметр отверстия сопла и на 20-30% уменьшить расход плазмообразующего газа. После образования канавки, заготовке сообщают вращательное движение, а инструменту продольное перемещение вдоль оси заготовки.

Минимальный шаг винтовой спирали равен сумме ширины реза и толщины витка. При этом ширину реза рассчитывают по формуле

$$l = 1,6K_{Tc}d_{con},$$

где  $d_{con}$  – диаметр сопла плазматрона,  $K_{Tc}$  – коэффициент материала, учитывающий вид материала и шаг винтовой линии.

Воздушно-плазменная резка обеспечивает высокую концентрацию в зоне реза, что гарантирует малую ширину реза (при ширине спирали 20 мм ширина реза – не более 2,5 мм).

Минимальная толщина витка зависит от протяженности зоны термического влияния у

кромки реза, состоящей из двух участков. Литый участок состоит из не удаленного с твердых поверхностей расплава металла, который образовался при резке. В участке с измененной структурой металл не расплавился, но в результате быстрого нагрева и охлаждения в нем произошли рост или уменьшение зерен и другие структурные превращения. Для получения ВЗ и ШЗ практически без окалины и деформаций разрезаемого металла важно правильно подобрать скорость резки и силу тока. Для этого можно выполнить несколько пробных разрезов на более высоком токе, уменьшая его при необходимости в зависимости от скорости движения. При более высоком токе или малой скорости резки происходит перегрев разрезаемого металла, что может привести к образованию окалины.

Кроме того, при ВПР конструкционных сталей наблюдается увеличение содержания азота в слоях, прилегающих к поверхности реза (до 0,33% при содержании азота в исходном металле 0,018%). При последующей сварке спиралей толщиной менее 12мм под слоем флюса из-за этого отмечено образование пор и свищей. Для других способов сварки подобного явления не наблюдается.

На ВЗ из конструкционных сталей, в особенности высокоуглеродистых, возможно образование структур закалки, в заготовках из хромоникелевых сталей возможно воздействие карбидов при отсутствии в стали стабилизирующих элементов. На кромках витков из алюминиевых сплавов, металл имеет дендритное строение; наблюдаются включения в виде газовых пузырей. Так, например, при вырезке ВЗ с толщиной витка 50мм общая протяженность зоны термического влияния составляет для высоколегированной стали (12X18H9T) 1,5-2мм, для алюминиевого сплава (АМг6) 3 мм, а для низкоуглеродистых и низколегированных сталей 6-7мм.

Скорость реза в зависимости от силы тока и параметров витка, определяется из выражения:

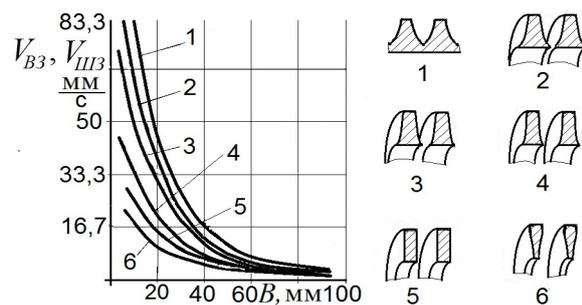
$$V_{B3} = 150K_M K_{TM} B^{-1},$$

$$V_{ШЗ} = 150K_M \sqrt{T^2 + (0,5D)^2 - (0,5d)^2},$$

где  $V_{B3}$  и  $V_{ШЗ}$  – скорость реза соответственно ВЗ и ШЗ, мм/мин;  $I$  – сила тока;  $B$  – ширина витка, мм;  $T$  – шаг витка;  $K_M$  – коэффициент материала, учитывающий марку материала;  $K_{TM}$  – коэффициент, учитывающий шаг витков;  $D$  и  $d$  – диаметры внешней и внутренней кромок витка.

Скорость потока плазмы, удаляющего расплавленный металл, возрастает с увеличением расхода плазмообразующего газа и силы тока и уменьшается с увеличением диаметра сопла плазматрона. Она может достигать около 800 м/с для силы тока 250 А.

На рис. 2 представлены результаты исследования влияния скорости резки на форму сечения витков ВЗ и ШЗ.



**Рис. 2.** Зависимость формы сечения витков ВЗ и ШЗ из малоуглеродистой стали от толщины витка и скорости резки полой заготовки (ток 300 А, расход воздуха 90-120 л/мин, диаметр сопла 3 мм).

На рис. 2 обозначено: 1 – скорость формообразования ШЗ из значительной шероховатостью винтовых поверхностей из-за непрорезания полой заготовки с помощью радиально размещенной относительно заготовки плазменной дуги; 2 – предельная скорость формообразования ВЗ со сходящимися смежными кромками витков вследствие сквозного прорезания и неустойчивого реза при наличии большой глубины литого участка зоны термического влияния; 3 – высокая скорость формообразования ВЗ из непараллельными боковыми винтовыми поверхностями витков; 4 – ограни-

ченная скорость формообразования ВЗ из боковыми поверхностями витков близкими к параллельным; 5 – скорость формообразования ВЗ с расходящимися смежными боковыми (коническими) винтовыми поверхностями и неустойчивой формой сечения витков; 6 – предельная скорость формообразования ВЗ с некачественными боковыми винтовыми поверхностями в результате нарушения стабильности процесса и увеличения вероятности двойного дугообразования.

В зоне между кривыми 1 и 2 увеличивается возможность двойного дугообразования. С ограничением скорости резки (поз. 3 и 4) качество заготовок повышается, хотя затраты энергии и материалов возрастают, производительность резки снижается. Скорости в зоне между 4 и 5 обеспечивают практическую параллельность винтовых поверхностей (при скоростях резки ниже максимальных в 1,5-2,5 раза); При этом шероховатость становится минимальной и вырезаемая ВЗ по большей части может быть использована без дополнительной механической обработки. Однако наиболее прямые углы среза при резке всегда находятся справа по направлению движения резака. Факел, выходящий за нижнюю плоскость разрезаемого металла, отстает от вертикальной оси на 15-20°. При резке полой заготовки большой (40-50 мм и более) толщины наряду со сходящимся книзу сечением реза наблюдается уширение в средней его части (бочкообразный рез) (поз.5). Такой режим характеризуется тем, что факел раскаленного газа, выходящий на нижнюю плоскость разрезаемого металла, вертикален. Впереди по резу металл выплавляется раньше, чем подошла дуга. При малой скорости перемещения плазматрона увеличивается ширина полости реза, снижается качество образующихся винтовых поверхностей и ухудшается устойчивость горения дуги (поз. 6). Если скорость перемещения плазматрона превышает скорость образования полости реза на полную толщину начальной заготовки, то

возникает возможность изготовления ШЗ вследствие не прорезывания металла.

При несоблюдении неоптимальных режимов резания, у ВЗ и ШЗ часто образуются наплывы в виде небольшого валика вдоль нижних кромок витков, цепочки застывших натеков в виде капель металла («бороды»), приварившегося к кромкам грата (много-численные нитеобразные натеки различной длины).

Анализ затрат на изготовление ВЗ и ШЗ показал целесообразность использования рассматриваемой технологии в условиях единичного, серийного и массового производств (рис. 3: 1 – высоколегированные стали, 2 – низколегированные стали).

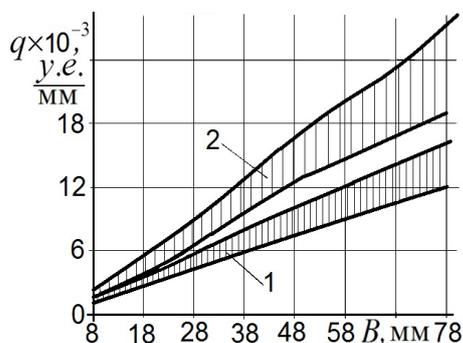


Рис. 3. Зависимость стоимости ВЗ и ШЗ за единицу длины внешней кромки витка.

Известно, что показатели качества и точности изделий, изготавливаемых способом ВПР из конструкционных углеродистых сталей, нержавеющей сталей или из алюминиевых сплавов толщиной 5-60мм, регламентируются ГОСТ 14792-80. Однако современное оборудование и способы резки позволяют изготавливать ВЗ и ШЗ за показателями качества и точности более тех, которые установлены соответствующим стандартом. С помощью классов угла среза 3-4 согласно ISO9013 можно определять качество боковых поверхностей спиралей. Согласно ГОСТ 14792-80 шероховатость винтовой поверхности, как поверхности реза можно определять измерением высоты неровностей профиля по 10 точкам на базовой длине 8 мм. При использовании оборудования

с ЧПУ, обеспечивающего постоянную скорость резания и точность позиционирования - до 0,1 мм можно достигнуть шероховатости боковых поверхностей витков  $Rz = 160 \dots 300 \mu\text{м}$ . При соблюдении рациональных режимов резания полученные заготовки характеризуются незначительным потемнением края реза, неглубокой термической зоной прогрева, отсутствием грата, наплывов и глубокого перекаливания кромки реза (не более 1мм от края реза). В некоторых случаях необходима последующая механическая обработка винтовых поверхностей.

### Заключение

Впервые предложен эффективный способ изготовления ВЗ и ШЗ путем воздушно-плазменной резки по спирали толстостенных трубных и штучных полых заготовок. Он позволяет получать указанные заготовки с шириной витка от 0,5 до 160 мм из металлических и полимерных материалов, обработка которых давлением (навивкой, прокаткой и формовкой) и резанием затруднена. В частности, из высоколегированных, коррозионностойких, жаростойких и жаропрочных сталей можно изготавливать изделия с толщиной витка более 3-5мм и шириной до 50-70мм; из низколегированных и низкоуглеродистых сталей с толщиной витка от 12-14мм и шириной витка более 30мм; из чугуна с шириной витка до 90мм.

### Литература

1. Технологические основы формообразования разнопрофильных винтовых заготовок: монография / Б.М. Гевко, М.И. Пулюец, В.В. Василькив, Д.Л. Радык. – Тернополь: Изд-во ТДТУ им. И. Пулюя, 2009. – 457 с.
2. Пулюец М.И., Василькив В.В. Проектирование секционных винтовых заготовок: монография – Тернополь: Изд-во ТНТУ им. И. Пулюя, 2013. — 180 с.
3. Киселев Ю.Я. Оборудование плазменно-дуговой резки металлов. – Кишинев, 2005. – 56 с.

---

**References**

1. Tehnologicheskie osnovy formoobrazovanija raznoprofil'nyh vintovyh zagotovok: monografija [Technological bases forming of multi-profile screw blanks: monograph] / B. Gevko, M. Pylypets, V. Vasykiv, D. Radyk. – Ternopil: Publishing House Ternopil State Ivan Pul'uj Technical University, 2009. – 457 p.

2. Pylypets M., Vasykiv V. Proektirovanie sekcionnyh vintovyh zagotovok: monografija [Designing sectional screw flights: monograph]. – Ternopil: Publishing House Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, 2013. – 180 p.

3. Kiselev U.Y. Oborudovanie plazmennodugovoj rezki metallov [Equipment plasma arc-cutting]. - Kishinev, 2005. – 56 p.

**Статья поступила в редакцию 5 марта 2014 г.**

---

*Васьлькив Василий Васильевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Компьютерных технологий в машиностроении» ТНТУ им. Ивана Пулюя, г. Тернополь, Украина. E-mail: Vasykivv@gmail.com

---

*Vasykiv Vasyl Vasylyevich* – Ph.D., Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, E-mail: Vasykivv@gmail.com