

Технологии изготовления литых винтовых и шнековых заготовок

Василий Васылькив

Technologies producing molten screw flights and auger billets: The article deals with problems of effective increase in making of machine part of screw flights and auger billets due to the informed choice of rational schemes for their shaping and development of rational progressive technological process for their manufacturing. The multivariant structures and classification of method shaping of molten screw flight and auger billets are presented. The conditions of the appropriate use of such technologies are determined.

Key words: screw flights, auger billets (blanks), screw part.

ВСТУПЛЕНИЕ

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, анкеров и буров в строительстве и других отраслях.

Основными 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) [1]. 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 машиностроения сформировался значительный массив многообразий вариантов формообразования ВЗ и ШЗ методом литья металлов и сплавов. Однако отсутствует общая их классификация, призванная способствовать обоснованному их выбору для эффективного производства винтовых изделий.

Таким образом, целью работы является общая классификация и определение условий эффективного использования технологических способов изготовления ВЗ и ШЗ методом литья металлов и сплавов.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Методом литья металлов и сплавов изготавливают геликоидные (длинномерные) ВЗ, а также длинномерные и секционные ШЗ. Последние в основном выполняют чугунами с пустотелым опорным элементом спирали для насаждения на стальной вал. Такие заготовки являются основой для реализации принципа блочного конструирования шнековых валов, позволяют гибко удовлетворять современные требования рынка оборудования (переход из одной компоновки на другую, сокращение сроков поставки и монтажа шнековых рабочих органов и т. д.).

Особенностью технологических операций изготовления упомянутых заготовок является заполнение расплавом материала винтовых полостей или его направленное перемещение по винтовой траектории с одновременным или последующим отверждением. Все способы можно классифицировать: по количеству заливок расплава в литейную форму (разовые и многократные); по виду материала из которого изготавливают формы (песчано-глинистые, песчаные, земляные, графитовые, керамические, металлические); по способу формовки (ручное, машинное формирование модели); по давлению, под которым находится жидкий металл в форме (атмосферное, низкое, высокое); по способу подачи расплавленных расплава в формы (свободное литье, литье с помощью вибрации) и т.д. (рис. 1).

Изготовление геликоидных ВЗ преимущественно осуществляют на операции непрерывного литья (рис.2: тут и далее на рис. 3 обозначено: 1, 2 - формирующие элементы: валки, вращающиеся диски, матрицы, пуансоны, элементы пресс-формы; 3 - оправка; 4 - расплав; 5 – ВЗ или ШЗ, 6 – направляющий элемент). Примером является сочетание операций непрерывного литья с операцией навивки (2134), вальцовки (2172), гибки (2129), скручивания (2131).

Непрерывное литье тонковитковых ВЗ осуществляют путем подачи (способом экструзии) под давлением не менее 60 кПа струи потока расплава (скорость подачи расплава 1-10м/с) определенного поперечного сечения на профилированную торцевую рабочую поверхность охлаждающего медного колеса, которое осуществляет высокоскоростное вращательное движение. Для обеспечения длительного контакта расплава с рабочей поверхностью колеса используют специальные подложки с шероховатой поверхностью, а также осуществляют продувку зоны контакта специальными газами. Для изготовления фасонных ВЗ на рабочей поверхности подложки выполняют барьерные элементы (выступления), в результате чего изолируются от спирали отдельные участки поверхности расплава. Под действием центробежных сил кристаллизованные участки сплава удаляются с рабочей поверхности подложки. Расплав подают под углом $30^{\circ} \dots 90^{\circ}$ (для перфорированных ВЗ) и $40^{\circ} \dots 70^{\circ}$ (для сплошных ВЗ); углы наклона спирали 10-15 град; угловая скорость вращения охлаждающего медного диска не менее 8000 об/мин. Скорость разлива - 20...30 м/с. Операцию используют при изготовлении обычных, фасонных, прямых, косых и перфорированных ВЗ диаметром до 60-100 мм, шириной витка менее 1-10 мм и толщиной менее 40-80 мкм из стекловидных сплавов системы Fe-B, Fe-Vc, Fe-B-Si, Fe-Ni-B, Cu-Zr (например, китайская марка Fe40Ni40B20) разогретых до температуры 1200 град.

Таким способом целесообразно изготавливать ВЗ спиралей электромагнитных устройств (роторы и статоры электродвигателей).

В совмещенных операциях заготовку, кристаллизующую из расплавленного металла, сначала прокатывают с переменной по ширине степени деформации с помощью приводных охлаждающих валков, образующих с установленной на них воронкой кристаллизатор движения. Полученную заготовку навивают ребром на вращающуюся оправку или асимметрически обжимают с помощью дополнительных валков. Угол конуса как прокатных, так и кристаллизационных валков соответствует градиентам изменения скорости кристаллизации расплавленного металла и скорости прокатки уже кристаллизованной заготовки вдоль образующих валков. Чем ближе к вершине конической поверхности, тем на меньшей дуги окружности происходит соприкосновение расплавленного металла с поверхностью валков и, следовательно, по направлению к вершине конической поверхности валков уменьшается скорость кристаллизации выдачи металла из валков. Такие операции целесообразно использовать в условиях массового производства (при годовой программе выпуска более 1000 штук) для ВЗ весом 0,2-100 кг, толщиной витка 6-20 мм при соотношении диаметральных параметров витка $d/D \leq 0,5$, шероховатости винтовых поверхностей - 6,3-20 мкм и коэффициентом использования материала - 0,9.

Секционные или длиномерные ШЗ изготавливают преимущественно способами жидкостной штамповки, литья в песчано-глинистые, земляные, оболочковые, керамические, полимерные, шишковые формы и в кокиль, литья по газифицируемым моделям (литье в пресс-формы с пенообразующего полистирола), литья по выплавляемым моделям и под давлением (рис. 3).

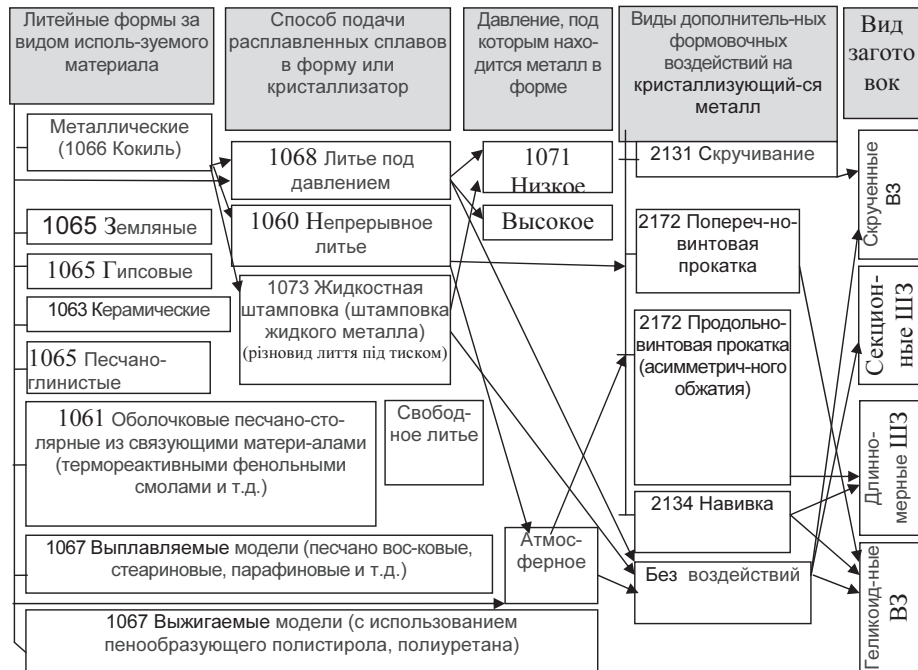


Рис.1 Классификация способов изготовления литых винтовых и шнековых заготовок с кодами, конкретизирующими технологические операции

Малоответственные отливки с толщиной витка до 15мм необходимо изготавливать из серого литейного чугуна А48-20В, отливки с толщиной витка 10-30 мм эксплуатируемых при давлении до 20 МПа - из Vch15, а отливок с толщиной витка 10-20 мм из Vch20. Шнековые заготовки для ответственных деталей изготавливают из чугунов марок 500-2, ЧХ16М2, ЧХ9Н5.

Технологии литья под давлением и штамповки жидких металлов, которые применяют в массовом и крупносерийном производствах (с программой выпуска более 1000шт.), позволяют получать ШЗ и вкладыши пресс-форм (для изготовления ШЗ из термопластов) из полимерных и цветных материалов соответственно толщиной $H > 0,6$ мм, $H > 0,3$ мм и массой заготовок до 25кг. Операция жидкостной штамповки заменила операцию горячей штамповки, так как обеспечивает изготовление ШЗ как с толстыми, так и с тонкими витками. Для этого используют стальные пресс-формы с четырьмя горизонтальными разъемными. Материал (цветные сплавы) подают в форму под давлением 30 - 100 МПа. Способ целесообразно использовать при изготовлении ШЗ, характеризующихся шероховатостью винтовых поверхностей - $Ra=3,2-10\mu\text{m}$. Коэффициент использования материала - до 0,98.

Литье с кристаллизацией под давлением обеспечивает получение ШЗ в количестве более 400 шт. из цветных материалов и массой 4-30кг, минимальной

толщиной спирали 2-4мм, шероховатостью $Ra=6,3-16\mu\text{m}$ и коэффициентом использования материала - 0.9.

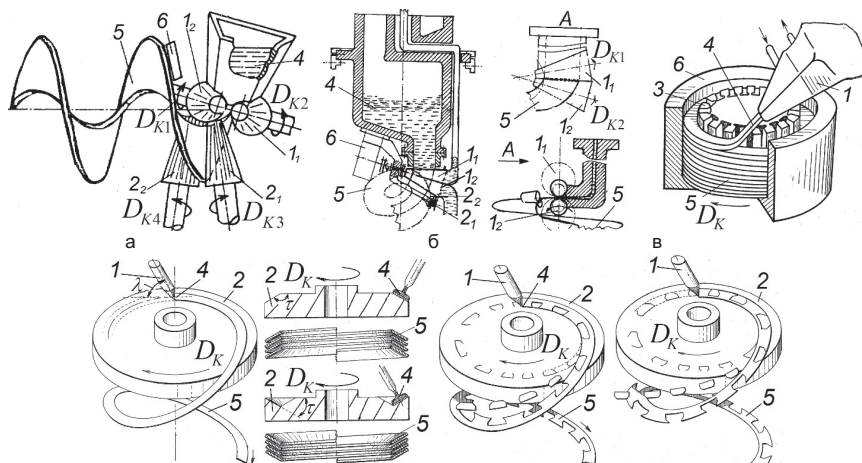


Рис. 2 Фрагменты библиотеки типовых технологических схем формообразования ВЗ с использованием вращающихся кристаллизаторов: а - А.с. СССР №SU606664; б - Пат. №US4281706; в - А.с. СССР №SU1070660А1, Пат. №US4281706; г - Пат. №US972240, US4341845, CA113210

Литье по выплавляемым моделям позволяет получать ШЗ из легированных сталей имеющих высокую температуру плавления и плохо поддающихся механической обработке и ковке с толщиной витка H от 0,5...1 мм до 5 мм. Коэффициент использования материала - 0,93. Способ целесообразно использовать при программе выпуска более 1000 шт. и весом каждой заготовки в интервале 0,01-120кг.

Операцию литья по выжигаемым моделям целесообразно использовать при изготовлении ШЗ весом 0,3-380кг из чугунов и износостойких сталей, бронзы, латуни и алюминия. Параметры получаемых заготовок: шероховатость винтовых поверхностей – $Ra=10-63\mu\text{m}$, минимальная толщина витка - 2-6мм. Коэффициент использования материала составляет 0,8.

Использование способа литья в керамические формы позволяет из всех сплавов получать ШЗ массой 8,0-1500кг, с минимальной толщиной витка 1,5-6,5мм, шероховатостью винтовых поверхностей - $Ra =6,3$ при минимальной партии отливок - 5шт.

Способ литья в песчано-смоляные формы используется для изготовления ШЗ из всех сплавов. Масса получаемых таким способом заготовок составляет 0,1-60кг, минимальная толщина витка 2-6мм, коэффициент использования материала - 0,85, шероховатость поверхностей – $Ra=10-65$. Целесообразная программа выпуска - более 400шт.

Литье в землю используется при изготовлении из серых чугунов, литейных сталей и жаростойких сплавов как секционных, так и длинномерных ШЗ с толщиной витка более 6...8 мм.

Литье в песчано-глинистые формы преимущественно используют при изготовлении чугунных ШЗ. Коэффициент использования материала - 0,7. Способ обеспечивает получение таких заготовок длиной до 10000 мм и толщиной витка от

3...5 до 1000 мм. При ручной формовке программа выпуска - более 3 шт., при машинной формовке - более 150 шт.

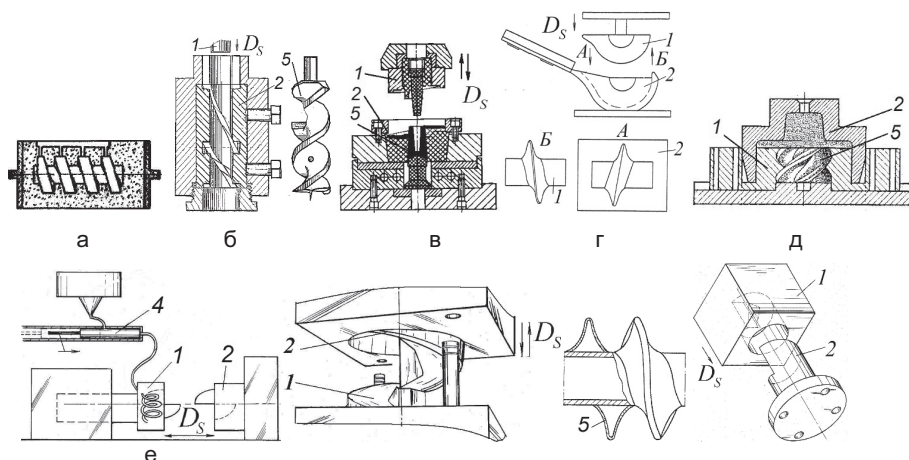


Рис. 3 Фрагменты библиотеки типовых технологических схем формообразования литых ШЗ: а – одноразовая песчано-глинистая форма; б – жидкостная штамповка с выдавливанием жидкого металла; в, г - жидкостная штамповка с кристаллизацией под давлением; д – пресс-форма для литья по выплавляемым моделям; е - литье под давлением

Литейную мастер-модель ШЗ выполняют деревянной или полимерной, которую получают на основе технологий быстрого прототипирования или методом автоматической бесконтактной оцифровки поверхностей реальных трехмерных моделей ШЗ, например, с помощью систем "3-D SCAN". В таком случае объекты для оцифровки изготавливают методом механической обработки на трех- и более координатных станках с ЧПУ. При этом могут использоваться специальные модельные материалы, например, марки 200, 301, 303, 500, 650, 651, 652, 1000, выпускаемых фирмой ОВО - Werke GmbH & Co, KG (Германия), марка "Владисинт", выпускаемой фирмой "Аквасинт" (г. Владимир, Россия).

Для технологий литья по выжигаемым (газифицируемым) и выплавляемым моделям целесообразно использовать восковые (для технологий выплавливания) или полистирольные (для технологий выжигания) мастер-модели ШЗ, которые можно получать методами послойного синтеза или путем их вырезки из полистирола с помощью нагретой нихромовой проволоки, или задуванием порошка полистирола в легкие алюминиевые пресс-формы (предварительно изготовленные методами точного литья) с последующим вспениванием гранул при их нагреве в пресс-формах.

Технология литья в кокиль является одной из эффективных способов изготовления ШЗ. Чтобы избежать возникновения усадочных раковин материал заливают при температуре не ниже 1550°. Перед заливкой кокиль покрывают маршалитовой краской (состав: бетонит-4, пылевидный кварц-63, сульфидная барда-10 остальное - вода). Кокиль часто изготавливают из сталей марок 25L1, 25L11 с последующей термической и механической обработкой. Можно изготавливать из чугуна следующего состава: 3-3,5 С, 1,5-2,5 Si, 0,5-0,8 Mn, 0,25 P, до 0,12 S. Для кокильного литья расход материала по сравнению с литьем в землю уменьшаются в 1,5 раза. Способ обеспечивает коэффициент использования материала 0,75-0,85.

На основе анализа и обобщения материалов исследований технологий изготовления ШЗ литьем в песчаные и оболочковые формы определены

зависимости минимальной толщины витка от вида используемого материала и внешнего диаметра D спирали (рис. 4 и рис. 5).

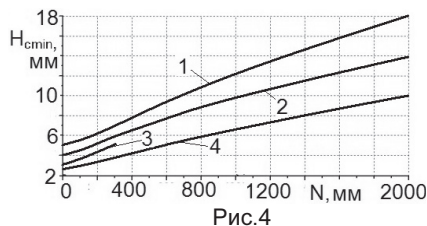


Рис.4

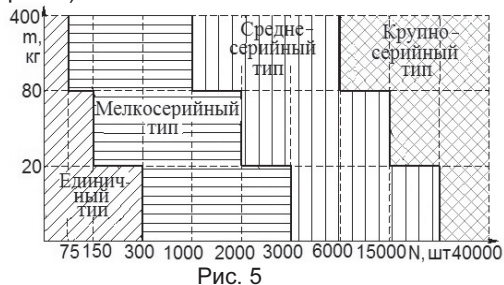


Рис. 5

Рис. 4 Зависимости минимальной толщины H_{cmin} витка от материала и габаритного размера N ВЗ для способов литья в песчаные и оболочковые формы: 1 - сталь, 2 - серый чугун, 3 - бронза, 4 - алюминиевые сплавы

Рис. 5. Связь между годовой программой N выпуска, массой m ВЗ и ШЗ и типом их производства

Для $D \in [30; 2000]$ и ШЗ из стали: $H_{cmin_1} = 4.55 + 9.8 \cdot 10^{-3} D - 1.7 \cdot 10^{-6} D^2$. Для ШЗ из серых чугунов: $H_{cmin_2} = 3.76 + 7.6 \cdot 10^{-3} D - 1.3 \cdot 10^{-6} D^2$. Для ШЗ из бронзы и $D \in [30; 300]$ $H_{cmin_3} = 2.69 + 8.8 \cdot 10^{-3} D - 3.94 \cdot 10^{-6} D^2$. Для ШЗ из алюминиевых сплавов и $D \in [30; 2000]$ $H_{cmin_4} = 2.62 + 6.4 \cdot 10^{-3} D - 1.2 \cdot 10^{-6} D^2$.

Дальнейшее развитие технологий изготовления ВЗ и ШЗ методом литья базируется на использовании новых схем формообразования и теплосиловых воздействий (давления, электромагнитных полей, вибрации, ультразвука и др.) на жидкий и кристаллизующийся металл, совершенствования литейных форм и технологий получения моделей, управления температурными полями через параметры оборудования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования разработана общая классификация технологических способов изготовления литых ВЗ и ШЗ, освещены области их применения и характеристики, отмечены пути развития и совершенствования.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Технологические основы формообразования разнопрофильных винтовых заготовок: монография / Б.М. Гевко, М.И. Пилипец, В.В. Василькив, Д.Л. Радук. – Тернополь: Изд-во ТДТУ им. И. Пулюя, 2009. – 457 с.

Контакты:

К.Т.н., доц. Василий Василькив, кафедра “Технологии машиностроения”, Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя, Украина, тел. 8(0352)-257454, e-mail: Vasylykivv@gmail.com.

Докладът е рецензиран.