

Способы и примеры оптимизации конструкций тонкостенных технических и декоративных отливок

Рассмотрена оптимизация конструкции отливки в концепции её воздействия с двумя текучими технологическими средами, а именно, её модели – с песчаной средой, а формы – с металлом. Копирование в металле конструкций, наблюдаемых в природе, предложено в качестве метода металлосбережения, а также указаны публикации о конструировании технических отливок по этому методу. Показаны примеры декоративных отливок, в конструкции которых отражены закономерности Золотого сечения и чисел Фибоначчи.

Ключевые слова: конструкция отливки, металлосбережение, легковесная отливка, литьё по газифицируемым моделям, декоративные изделия, золотое сечение, числа Фибоначчи

Одной из актуальных задач литейного производства является существенное уменьшение массы литых конструкций, в первую очередь транспортных средств, и рост их эксплуатационного ресурса. Современные литые конструкции в силу используемых литейных процессов и традиционных условий их конструирования как в Украине, так и странах СНГ, по мнению проф. Шинского О. И., превышают расчётные в 1,5-2,0 раза, а в Западной Европе – в 1,3-1,5 [1]. Это ведёт к перерасходу энергоносителей, шихтовых материалов, трудоёмкости литейного производства. При эксплуатации машин и механизмов, созданных на основе литых деталей высокой металлоёмкости, расходы энергоресурсов, топлива и смазочных материалов превышают не менее чем на 20-30 % от использования оптимальных литых деталей.

Для осуществления металлосбережения нужны новые подходы к оценке эксплуатационных характеристик литых изделий, прогнозирования свойств литейных материалов и технологий с использованием наработанных учёными компьютерных информационных технологий и адаптированных компьютерных программ, отражающих условия заполнения формы, питания подверженных усадке узлов, кристаллизации и структурообразованию отливок. В процесс совершенствования автоматизированных систем проектирования литых конструкций следует вовлекать новые достижения в технологии литейных сплавов и формовочных процессов в оптимальном их сочетании [1] и с включением последних разработок в области специальных видов литья как арсенала точных способов получения отливок. При этом большими перспективами обладает литьё по газифицируемым моделям (ЛГМ).

При выполнении исследований по теме «Разработка научных и технологических основ по созданию литых конструкций из железоуглеродистых и цветных сплавов, оптимальных процессов их получения и автоматизированных методов проектирования» под научным руководством проф. Шинского О. И. проведены анализ, идентификация и ряд экспериментов по оптимизации литых технических легковесных метал-

локонструкций на основе некоторых математических методов [2, 3].

Большим потенциалом обладает метод копирования в металле отобранных эволюцией конструкций природы как неисчислимым примеров совершенства и ресурсосбережения [4, 5], в частности с использованием процесса ЛГМ. При этом формообразование отливки предложено рассматривать в концепции совместного на него влияния таких двух текучих сред, как заливаемый металл, замещающий литейную модель изнутри, и подвижная песчаная среда, обтекающая поверхность модели снаружи с учетом оптимального заполнения песком литейной формы. С помощью математического и компьютерного моделирования удалось разработать легковесные ячеистые ресурсосберегающие конструкции литых металлоизделий по аналогам строения микроструктур твёрдого вещества, отдельных биологических структур и наноматериалов с физическим моделированием их из серийных деталей, выполненных из газонаполненных углеводородных полимеров [2-5].

В этих работах, содержащих более десятка запатентованных конструкций технических отливок или моделей для их получения, отмечается известный факт распространения спиральных элементов среди конструкций природы, в частности с характеристиками, относящимися к понятию «золотого сечения», которое восходит из глубокой древности. Рассмотрим подробнее закономерности, связанные с этим понятием. Принято считать, что его ввёл в научный обиход Пифагор (VI в. до н.э.). В дошедшей до нас античной литературе описание деления отрезка в крайнем и среднем отношении (золотое сечение) впервые встречается в «Началах» Евклида, и составляет приблизительно 1,618 [6, 7]. В своё время форма спирально завитой раковины привлекла внимание Архимеда, который вывел уравнение спирали. Спираль, вычерченная по этому уравнению, называется его именем, увеличение её шага всегда равномерно.

Кроме того, пропорция 0,618... равняется отношению предыдущего к последующему числу в ряде Фибоначчи. Числа ряда Фибоначчи повсеместно проявляются в природе: это спираль, по которой веточки

растений примыкают к стеблю, спираль, по которой вырастают чешуйки на шишке или зёрна на подсолнухе. Спиральную форму учёные увидели в разнообразных вещах, таких как: ураганы, спиральные семена, улитка человеческого уха, рог барана, хвост морского конька, растущие листья папоротника, молекула ДНК, волны, ударяющиеся о берег, торнадо, галактики, хвост кометы, вращающейся вокруг Солнца, водоворот, паутина паука. В самом человеческом теле встречаются соотношения золотого сечения (рис. 1, иллюстрации для этого обзора взяты из открытых источников интернета). Одним из современных примеров применения золотого сечения служит использование мозаики Пенроуза [5].

Пропорция золотого сечения воспринимается человеческим глазом как красивая, гармоничная. Принцип золотого сечения, отражающий структурное и функциональное совершенство целого и его частей, наблюдаемый в природе, используют в искусстве, на-

уке и технике. Искусство даёт огромное количество примеров использования золотого сечения. Пирамида Хеопса (наибольшая из египетских пирамид), Пантеон и Парфенон в Афинах, большинство греческих скульптур (включая Дорифора и Венеру Милосскую), «Мона Лиза» Леонардо да Винчи, картины Рафаэля и Микеланджело, Ивана Шишкина, здания архитекторов Баженова и Малевича и др. [7].

Существуют «золотые» фигуры, прямоугольник, треугольник, пятиугольник, построенные на основе указанных соотношений сторон. Первые две (слева) мы видим в структуре ювелирных отливок, выполненных с учётом соотношений Фибоначчи (с указанием его имени в названии изделий), в том числе, с применением 3D-принтера (рис. 2).

Соотношения по геометрическому строению характеризуются понятием пластичности, гармоничным соотношением форм и линий. Таким образом, весь мир, как естественный, так и искусственный,

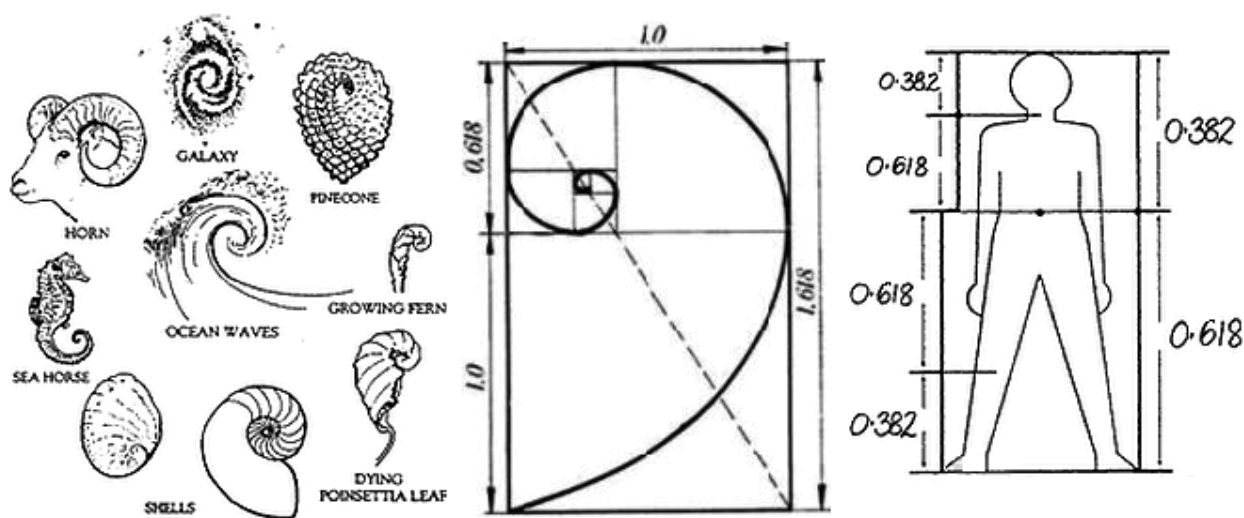


Рис. 1. Примеры воплощения в природе спирали Архимеда и чисел Фибоначчи



Рис. 2. Примеры ювелирных отливок с элементами «золотых» фигур и спиралей

строится по единым универсальным законам. Человек сознательно или интуитивно использует эти универсалии. Пропорции декоративных отливок, показанных ниже и применяемых в садово-парковой композиции или в оформлении помещений и зданий, как бы наполняют пространство внутренней красотой. Она невидима непосредственно, но всегда ощутима, подобно духовной красоте человека.

Поскольку в строении черт лица человека также имеется множество соотношений, близких к значению золотого сечения, а максимальное соответствие золотому

сечению, по мнению многих учёных и людей искусства, художников и скульпторов, существует у людей с совершенной красотой, то есть служат идеалом красоты для человеческого взора, то включение таких лиц или фигур в декоративные композиции часто способствовало гармоничному преображению, как бы одухотворению этих композиций. В показанных примерах фотографии декоративных отливок, конструкции которых содержат изображения лиц или фигур людей, главным образом взяты из туристических, архитектурных описаний или изображений исторических памятников (рис. 3).



Рис. 3. Примеры соответствия черт лица отношениям чисел Фибоначчи и изображений лиц в декоративных отливках

Введение фигур людей в декоративные литые ограды, ритуальные и другие композиции изменяет соотношение форм по геометрическому строению (рис. 4). Этот тип соотношений возникает при сопоставлении прямолинейных (геометрических) и криволинейных (живописных) форм, то есть природных и искусственных форм. На некоторых фото (рис. 3, 4) мы видим спиральные элементы, аналогичные показанным на рис. 1, 2. Примеры тонкостенного литого орнамента, практически состоящего из таких элементов, показаны на рис. 5.

Скульпторы и литейщики, следуя законам гармонии, создали декоративные отливки, наблюдая которые, зритель сознательно или бессознательно воспринимает внутренние структурные закономерности организации художественной формы, заложенные в изделие при помощи мастерства и искусства. Причём, следование таким внутренним законам формирования художественной формы в соответствии с описанными спиральными конструкциям и рядами Фибоначчи отнюдь не мешает творчеству мастеров создавать новые не менее яркие, образно неповторимые изделия.

Точно так же как и природа, реализуя свои строгие законы, создаёт неисчислимы примеры совершенства. Многие литейщики, участвующие в производстве замечательных отливок, некоторые из которых показаны в этом обзоре, в силу своего мастерства и таланта интуитивно ощущая описанные выше закономерности художественного формообразования и передавая обретенный художественный опыт, создавали традиции технической школы декоративной и художественной отливки, превращая этот опыт в технологические нормы. Таким образом, в процессах литья, в ряде случаев граничащего с искусством, следуя принципам поиска совершенства формы литого изделия, реализуется фундаментальный принцип гармонии «единство в многообразии».

Научно-технической школой литейного производства в Физико-технологическом институте металлов и сплавов НАН Украины накоплен значительный опыт литья тонкостенных технических и декоративных металлоизделий. Институт является ведущим разработчиком и патентодержателем ряда разновидностей ЛГМ-процесса и обладает научно-производственными знаниями, накопленными с 60-х годов прошлого века по внедрению в производство этого процесса. В цехах института постоянно производятся отливки и совершенствуются технология, оборудование и оснастка.

В настоящее время для быстрого изготовления моделей из пенополистирола используют станки с ЧПУ или 3D-фрезеры [8]. Это позволяет с минимальными затратами изготовить разовые модели отливок мелких серий или модель оснастки – пресс-формы для получения отливок большей серийности. Литые алюминиевые пресс-формы обрабатывают на тех же станках. По таким моделям возможно получение всех отливок, образцы которых показаны выше. При изготовлении моделей с помощью станков с ЧПУ для резки пенопласта трехмерная модель сложной детали разбивается на простые элементы, которые вырезаются на станке. Затем, склеив их, получают модели больших

габаритов с достаточно сложной формой (корпуса крупногабаритных двигателей, насосов, редукторов, станины, декоративные тонкостенные отливки). Такое производство модели для литья в мелкосерийном и единичном производстве по ЛГМ-процессу даёт выигрыш во времени и трудозатратах, когда изготовление литейной формы другим способом экономически невыгодно. По этой технологии расплавленный металл заливается прямо на тело литника пеномодели и замещает ее в формовочной смеси. Экономика ЛГМ-процесса проанализирована в статье [9] в сравнении с другими литейными процессами.

На основе работы [8] резюмируем этапы производства модели на 3D-фрезере, состоящие в следующем (рис. 6). Строится объемная модель детали в трехмерной CAD-системе (SolidWorks, Компас 3D, CATIA, Autodesk Inventor и т.п.). Объемная модель разбивается на более простые фрагменты, которые технологически возможно вырезать на станке фигурной резки пенопласта. Контуры фрагментов компонуются в размер пенопластовой заготовки и готовятся файлы управляющих программ. Резка на 3D-фрезере (станке с ЧПУ) и при необходимости ручная доработка деталей, затем сборка фрагментов в модель.

Далее показаны примеры получения пенополистирольных моделей и отливок декоративных изделий, выполненные под руководством главного технолога В. С. Мельника (рис. 7-12).

На последней фотографии (рис. 12) показаны полость, вырезанная 3D-фрезером в блоке пенополистирола и предназначенная для дальнейшего изготовления модели пресс-формы, модель из пенополистирола и чугунная отливка детали декоративного ограждения, что как бы демонстрирует цикл изготовления элементов оснастки и металлической отливки.

Таким образом, в обзоре рассмотрена оптимизация конструкции отливки в концепции ее воздействия с двумя текучими технологическими средами, а именно, ее модели - с песчаной средой, а формы - с металлом. Копирование в металле конструкций, наблюдаемых в природе, предложено в качестве метода металлосбережения, а также указаны публикации о примерах конструирования технических отливок по этому методу. В связи с тем, что в последние годы статьи по технологии художественного литья стали редкостью в отечественной технической периодике, в обзоре сделан акцент на демонстрацию примеров из практики производства декоративных отливок, в конструкции и живописных формах которых литейщики стремились отразить закономерности золотого сечения и чисел Фибоначчи. Таким подходом к конструированию отливок достигается повышение привлекательности внешнего вида, а гармонизация очертаний и размеров отливок будет способствовать металлосбережению при их производстве.

Кроме того, популяризация высокотехнологичных процессов ЛГМ и компьютеризации производства моделей на 3D-фрезере может быстрее привлечь внимание руководителей производства путем демонстрации примеров декоративно-художественных изделий как образцов, которые полнее демонстрируют возможности рассматриваемых современных производственных процессов.

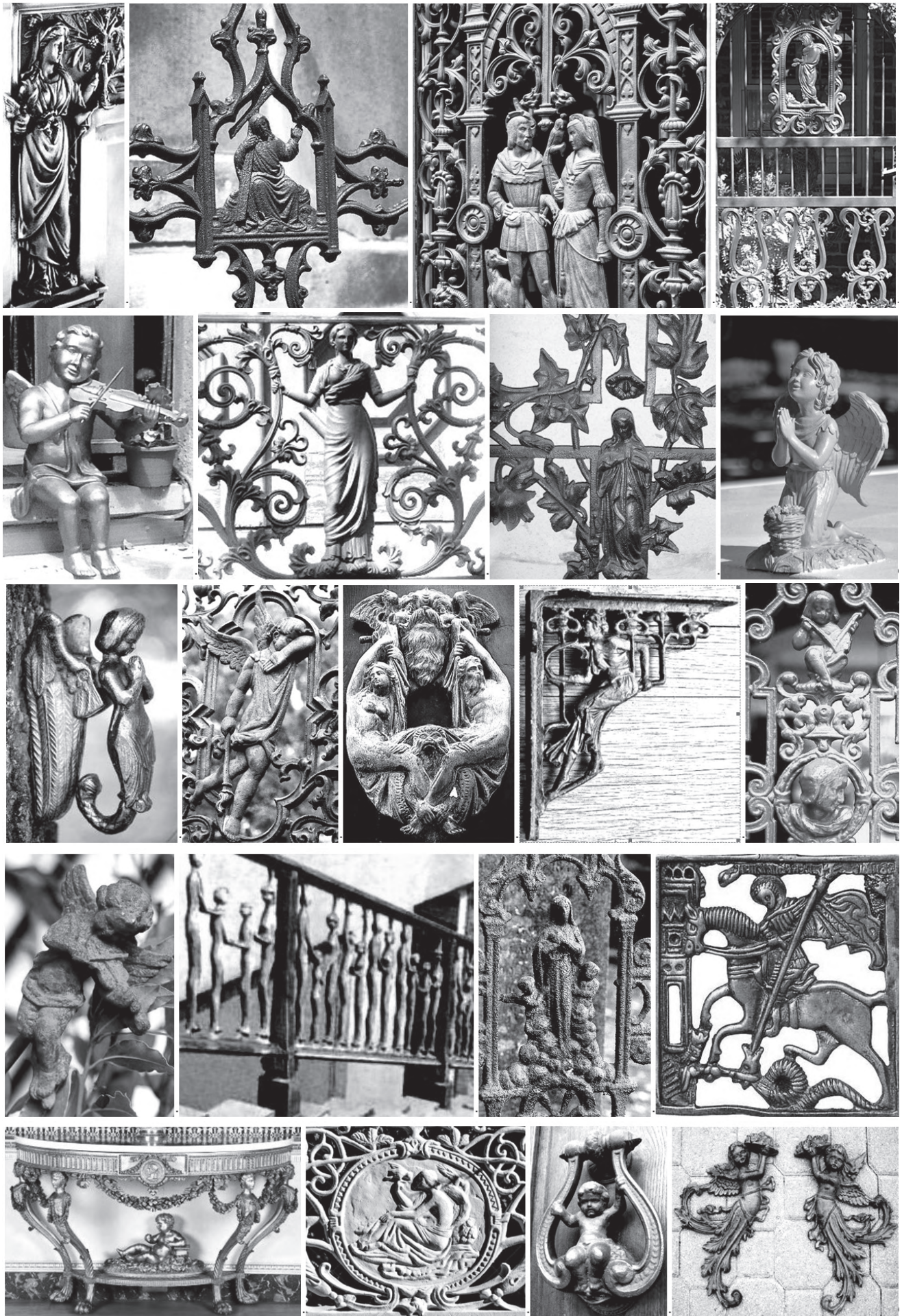


Рис. 4. Примеры декоративных отливок с изображением тел людей



Рис. 5. Литые изделия из спиральных элементов

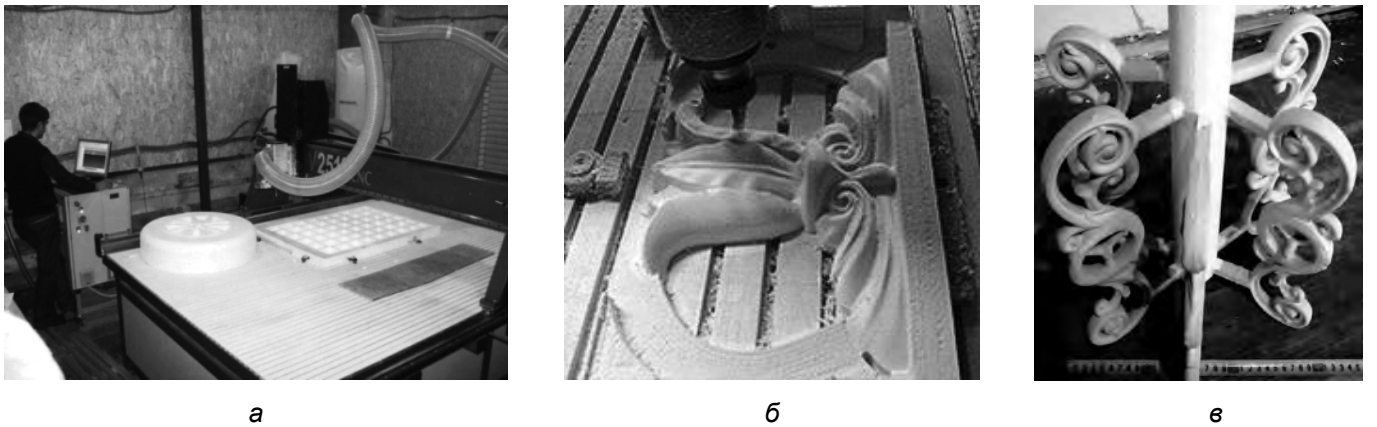


Рис. 6. Процесс изготовления пенополистирольных моделей на 3D-фрезере (а); показана работа фрезы при получении декоративной модели (б); блок в сборе из четырех моделей со спиральными элементами (в)



Рис. 7. Крупные модели отливок декоративных решеток ограждений, а также скамейка показана рядом с моделью



Рис. 8. Крупная лито-сварная секция декоративного ограждения из углеродистой стали в цехе ФТИМС НАН Украины, а также её фрагмент с моделями деталей

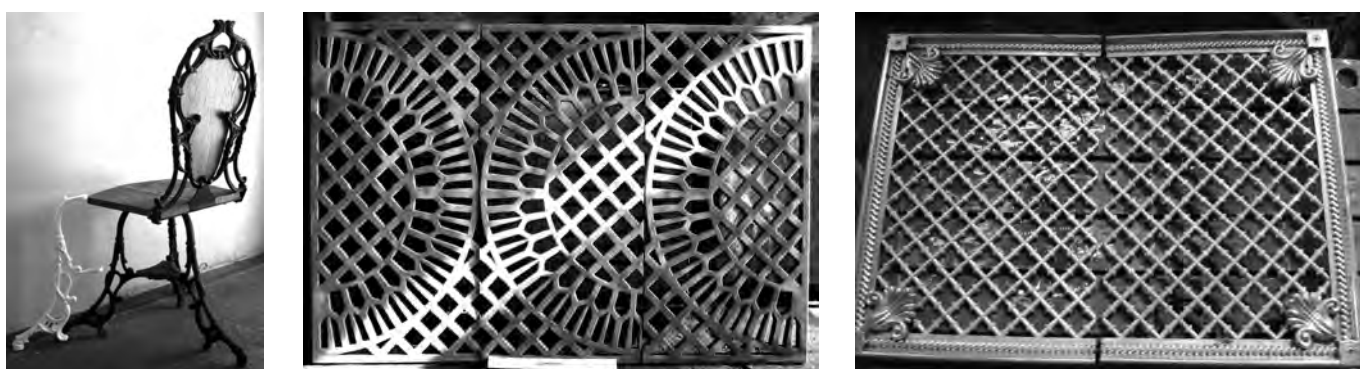


Рис. 9. Стул на чугунном каркасе, 3-секционная чугунная и 2-секционная латунная решётки



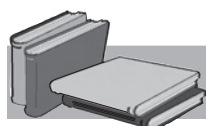
Рис. 10. Две латунные решетки и ваза



Рис. 10. Модель и пустотелая алюминиевая отливка подставки под колонну, 3 модели и отливка подставки под плафон уличного светильника, а также модель и отливка православного креста

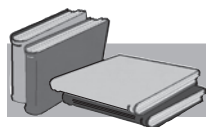


Рис. 12. Модель и отливка из нержавеющей стали детали ограждения, а также заготовка модели пресс-формы, модель и отливка детали декоративного ограждения



ЛИТЕРАТУРА

1. Шинский О. И. Снижение металлоёмкости литейной продукции – основа развития отрасли / О. И. Шинский // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2011. – № 1. – С. 78-79.
2. Дорошенко В. С. Анализ и идентификация литых легковесных металлоконструкций с использованием теории минимальных поверхностей / В. С. Дорошенко // Металл и литьё Украины. – 2015. – № 11. – С. 24-28.
3. Дорошенко В. С. Математическое проектирование каркасно-ячеистых отливок // Литейное производство. – 2013. – № 2. – С. 9-12.
4. Дорошенко В. С. Способы получения каркасных и ячеистых литых материалов и деталей по газифицируемым моделям / Дорошенко В. С. // Литейное производство. – 2008. – № 9. – С. 28-32.
5. Дорошенко В. С. Проектирование легковесных литых каркасно-ячеистых металлоконструкций с помощью моделирования структур природы. / В. С. Дорошенко. – LAP Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, 2015. – 54 с.
6. Стахов А. П. Математика гармонии. От Эвклида к современной математике и компьютерной науке / А. П. Стахов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2013. – № 1. – С. 7-15.
7. Боднар О. Я. Золотий Переріз і неевклідова геометрія у науці та мистецтві: монографія / О. Я. Боднар. – Львів: НВФ «Українські технології», 2005. – 198 с.
8. Дорошенко В. С. 3D-технологии при литье по газифицируемым моделям / В. С. Дорошенко, И. О. Шинский // Металл и литьё Украины. – 2009. – № 4-5. – С. 30-33.
9. Дорошенко В. С. Примеры расчётов технико-экономических показателей процессов литья по разовым моделям / Дорошенко В. С., Шинский В. О. // Процессы литья. – 2015. – № 6. – С. 35-47.



REFERENCES

1. Shinskij O. I. (2011). Snizhenie metalloemkosti litejnoj produkcii – osnova razvitiya otrasli [Reducing metal foundry capacity in production – the basis of development of the industry]. *Oborudovanie i instrument dlya professionalov*, no 1, pp. 78-79. [in Russian].
2. Doroshenko V. S. (2015). Analiz i identifikaciya lityh legkovesnyh metallokonstrukcij s ispol'zovaniem teorii minimal'nyh poverhnostej [Analysis and identification of cast lightweight metal structures using the theory of minimal surfaces]. *Metall i lit'e Ukrainy*, no 11, pp. 24-28. [in Russian].
3. Doroshenko V. S. (2013). Matematicheskoe proektirovanie karkasno-yacheistyh otlivok [Mathematical design of frame-mesh casting]. *Litejnoe proizvodstvo*, no 2, pp. 9-12. [in Russian].
4. Doroshenko V. S. (2008). Sposoby polucheniya karkasnyh i yacheistyh lityh materialov i detalej po gazificiruемым modelyam [Methods for producing aerated frame and cast materials and parts using Lost Foam process]. *Litejnoe proizvodstvo*, no 9, pp. 28-32. [in Russian].
5. Doroshenko V. S. (2015). Proektirovanie legkovesnyh lityh karkasno-yacheistyh metallokonstrukcij s pomoshch'yu modelirovaniya struktur prirody. [Designing lightweight cast frame and mesh metal structures by modeling structures of nature]. LAP Lambert Academic Publishing, Saarbrücken. [in Russian].
6. Stahov A. P. (2013). Matematika harmonii. Ot Evklida k sovremennoj matematike i komp'yuternoj nauke [Mathematics harmony. From Euclid to modern mathematics and computer science]. *Vimiryuval'na ta obchislyuval'na tekhnika v tekhnologichnih procesah*, no 1, pp. 7-15. [in Ukraine].
7. Bodnar O. YA. (2005). Zoloty Pereriz i neevklidova geometriya u nauksi ta mystetstvi: Monohrafiya. [Golden section and non-Euclidean geometry in science and art: monograph]. L'viv: NVF «Ukrayins'ki tekhnolohiyi». [in Ukraine].
8. Doroshenko V. S., Shinskij I.O. (2009). 3D-tehnologii pri lit'e po gazificiruемым modelyam [3D-technology in the lost foam casting]. *Metall i lit'e Ukrainy*, no 4-5, pp. 30-33. [in Russian].
9. Doroshenko V. S., Shinskij V. O. (2015). Primery raschetov tekhniko-ehkonomicheskikh pokazatelej processov lit'ya po razovym modelyam [Sample calculations of technical and economic parameters of the casting process for the expendable pattern casting process]. *Processy lit'ya*, no 6, pp. 35-47. [in Russian].

Анотація

Дорошенко В. С.

Способи і приклади оптимізації конструкцій тонкостінних технічних і декоративних виливків

Розглянуто оптимізацію конструкції вилівка в концепції його взаємодії з двома текучими технологічними середовищами, а саме, його моделі – з піщаним середовищем, а форми – з металом. Копіювання в металі конструкцій, що спостерігаються в природі, запропоновано в якості методу металозбереження, а також вказано публікації про конструювання технічних виливків за цим методом. Показано приклади декоративних виливків, в конструкції яких відображено закономірності золотого перетину і чисел Фібоначчі.

Ключові слова

конструкція вилівка, металозбереження, легковаговий вилівок, лиття за моделях, що газифікуються, декоративні вироби, золотий перетин, числа Фібоначчі

Summary

Doroshenko V.

Methods and techniques for the optimization of thin-walled structures of technical and decorative castings

We consider the optimization of casting design concept in its impact with two fluid technological environments, namely, its pattern - with a sand medium, and mold – with metal. Copying in metal structures observed in nature, it is proposed as a method of metal savings and publications listed technical design of castings according to this method. Showing examples of decorative castings, design patterns which reflect the golden section and Fibonacci numbers.

Keywords

casting design, metal savings, lightweight casting, lost foam casting, decorative items, the golden section, Fibonacci numbers

Поступила 25.03.2016