



УДК 669.715

DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-8-1-1

**ПОЛУЧЕНИЕ ОТЛИВОК ИЗ СПЛАВА ВАЛ20
ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛЕЙ
ИЗДЕЛИЙ ОАО «ТУПОЛЕВ»**

Е.С. Гончаренко
кандидат технических наук

И.П. Алябьев

А.В. Трапезников

Д.В. Огородов

Август 2014

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

Е.С. Гончаренко¹, И.П. Алябьев², А.В. Трапезников¹, Д.В. Огородов¹

ПОЛУЧЕНИЕ ОТЛИВОК ИЗ СПЛАВА ВАЛ20 ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛЕЙ ИЗДЕЛИЙ ОАО «ТУПОЛЕВ»

Большая часть изделий из литейных алюминиевых сплавов производится литьем в песчаные формы, что требует практически 100%-ной механической обработки. Повышения эффективности, технологичности и качества литейного производства на авиастроительном предприятии можно достичь путем применения современных информационных технологий на этапе конструкторско-технологической подготовки производства. В статье приведены расчеты 3D-моделей деталей рулевого управления для изготовления фасонных отливок из современного высокопрочного сплава ВАЛ20. Печать 3D форм и моделей для изготовления отливок оптимальной конструкции с высокой точностью размеров и минимальными затратами на последующую механическую обработку позволяет значительно сократить продолжительность изготовления отливок.

Показана экономическая эффективность данного способа литья на примере конкретной детали рулевого управления из сплава ВАЛ20 по сравнению с изготовлением этой же детали из серийного сплава АЛ9-1.

Ключевые слова: *алюминиевые отливки, разовые формы, прочностной расчет, 3D-модели.*

E.S. Goncharenko, I.P. Alyabev, A.V. Trapeznikov, D.V. Ogorodov

OBTAINING OF COSTS FROM VAL20 ALLOY BY OPTIMIZATION THE DESIGN OF ELEMENTS OF JSC «TUPOLEV»

Major aluminum cast products are made by green sand casting that requires almost 100% machining. Improving of efficiency, manufacturability and quality of foundry aircraft industry can be achieved at the expense of the application of modern information technologies at the stage of design and technological preparation of production. In the article the calculation of the 3D-models of steering parts for manufacturing of shaped castings from modern high-strength alloy VAL20. 3D print of molds and models for making castings with optimal design, high size precision and minimum machining allow considerably reduce time of castings production.

Economic efficiency of this casting method is shown on example of specific steering part made from VAL20 alloy compared with same part made from serial AL9-1 alloy.

Keywords: *aluminum castings, single mold, strength calculation, 3D-models.*

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

²Ульяновский филиал ОАО «Туполев» – конструкторское бюро [Ulyanovsk branch of JSC «Tupolev» – Design Bureau] E-mail: tu@tupolev.ru, info@tupolev.ru

Введение

Одной из основных тенденций развития перспективных летательных аппаратов является применение современных материалов и разработанных технологий получения фасонных отливок из алюминиевых сплавов [1–8].

В настоящее время в России наблюдается увеличение объемов применения литейных алюминиевых сплавов в различных изделиях авиационной отрасли, что напрямую связано с соответствующей тенденцией в мировой практике. К отливкам предъявляются повышенные требования по точности геометрических размеров, чистоте поверхности, пористости и коррозионной стойкости. Большая часть изделий из литейных алюминиевых сплавов производится литьем в песчаные формы, что дешевле с точки зрения производителей-литейщиков, но требует практически 100%-ной механической обработки. Кроме того, высокопрочные литейные алюминиевые сплавы (типа твердого раствора) имеют пониженную технологичность по сравнению с эвтектическими силуминами, что затрудняет изготовление из них деталей литьем в металлические формы. Механическая обработка при литье в песчаные формы стоит дорого, так как необходимы припуски не менее 5 мм (иногда – до 40 мм), т. е. обрабатывается практически вся поверхность детали.

За рубежом широко используются формы из холоднотвердеющих смесей (ХТС), обладающие повышенными технологическими характеристиками, газопроницаемостью, прочностью, а также экологичностью. Применение в России литья в формы из ХТС носит ограниченный характер, так как предприятия, использующие формы из ХТС, приобретают технологию и оборудование за рубежом.

Современное развитие науки и техники позволяет получать детали новыми методами с помощью цифровых технологий: печать форм и моделей на 3D-принтерах – для изготовления отливок оптимальной конструкции с высокой точностью размеров и минимальными затратами на последующую механическую обработку, что позволяет значительно сократить продолжительность изготовления отливок. Повышения эффектив-

ности, технологичности и качества литейного производства на авиастроительном предприятии, прежде всего, можно достичь путем применения современных цифровых технологий на этапе конструкторско-технологической подготовки производства.

Прямое изготовление оснастки на 3D-принтерах – это метод, позволяющий ускорить получение форм для отливок. В простейших случаях форма для отливки детали может быть разработана по готовой модели буквально за считанные минуты в программах CAD [8–12].

В связи с повышением требований к прочностным и ресурсным характеристикам материалов из легких сплавов целесообразно использовать в производстве взамен серийных сплавов новый литейный алюминиевый сплав ВАЛ20 системы Al–Cu–Mg с добавками Mn, Ti, Zr и Sc. Сплав предназначен для литья деталей, работающих как при повышенных (до 300°C), так и при комнатной температурах, он – более технологичный, чем высокопрочный серийный сплав ВАЛ10 [12–16].

Для снижения объема механической обработки необходим переход от обычных отливок к более точным, что требует перепроектирования деталей и, как следствие, проведения анализа прочностных характеристик.

Цель данной работы – разработка 3D-моделей деталей с проведением анализа прочности сборок узлов для получения фасонных отливок деталей системы рулевого управления из современного высокопрочного алюминиевого сплава ВАЛ20 методом литья в разовые формы, изготовленные с помощью трехмерной печати.

Материалы и методы

Основной метод исследования – эксперимент, выполненный с использованием математических моделей конструкций, отражающих их физические свойства и построенных на основе конечно-элементных моделей с помощью программных комплексов Catia P3.V5R19 и MSC Patran.

Результаты

Детали «крышка» (рис. 1, *а*) и «корпус» (рис. 1, *б*) являются силовыми деталями корпуса шариковинтового подъемника системы управления предкрылками. Прикладываемая нагрузка создается аэродинамическими силами и рулевым приводом. Расчеты проводятся до изготовления оснастки при проектировании деталей из современного высокопрочного сплава ВАЛ20.

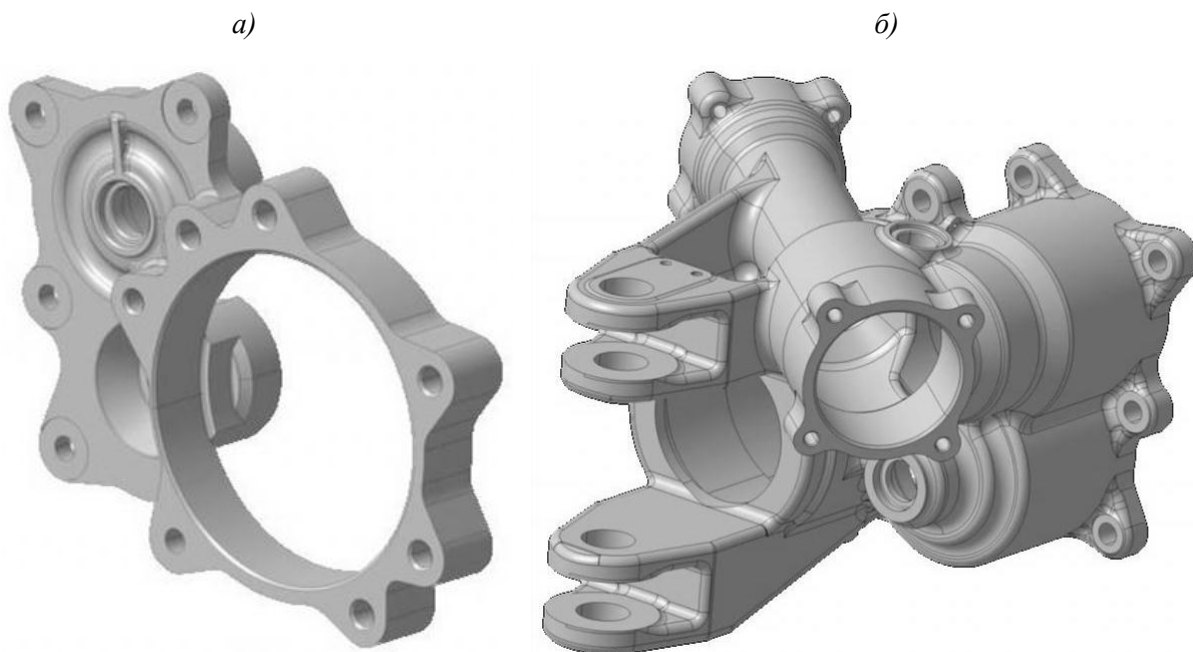


Рисунок 1. Детали «крышка» (а) и «корпус» (б) подъемника из сплава ВА120

Теоретическое нагружение «корпуса» и «крышки» рассматривается в составе всего агрегата – подъемника предкрылка. Приведен расчет для воздействия максимальной аэродинамической нагрузки на предкрылок, которая возникает при заклинивании предкрылка, что создает максимальный динамический момент на входном валу подъемника. Величины осевого усилия и крутящего момента прикладываются одновременно при растяжении и сжатии.

Серийные детали «корпус» и «крышка», входящие в состав конструкции подъемника предкрылка, являются типовыми для агрегатов типа редуктор, подъемник или опора трансмиссии. Детали отличаются сложностью форм и большой трудоемкостью изготовления. Изготовление деталей рассмотрено на примере наиболее сложной серийной детали – «корпус» (рис. 2) из силумина АЛ9-1 (сплав АК7п.ч. по ГОСТ 1583–93). Масса литейной заготовки составляет 5 кг, масса детали после механической обработки 1,86 кг. Количество обрабатываемых поверхностей по техпроцессу 33, трудоемкость механической обработки 9,9 норм.-ч.

Общий вид оптимизированной литейной заготовки показан на рис. 3, цветом выделены места для дальнейшей механической обработки. Создана 3D-модель детали «корпус».



Рисунок 2. Общий вид заготовки серийной детали «корпус»

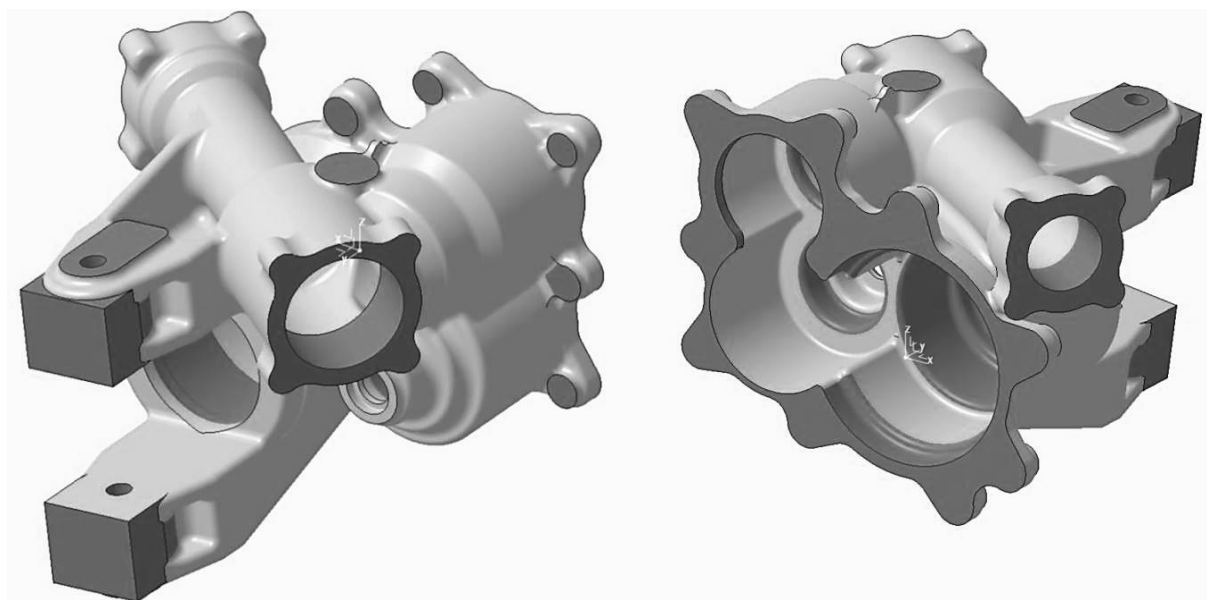


Рисунок 3. Общий вид оптимизированной литейной заготовки для детали «корпус»

В математических моделях деталей «корпус» и «крышка» обеспечено уменьшение технологических припусков под механическую обработку, а также массы литейной заготовки и окончательной детали. Наружные поверхности не должны обрабатываться.

Технологический припуск механически обрабатываемых поверхностей составляет 3 мм, количество обрабатываемых поверхностей уменьшено до 16.

Ожидаемые параметры заготовок из сплава ВAl20:

Масса	2 кг
Снижение трудоемкости механической обработки	5 норм.-ч
Масса детали после обработки	1,55 кг
Снижение массы детали	0,310 кг (16,6%).

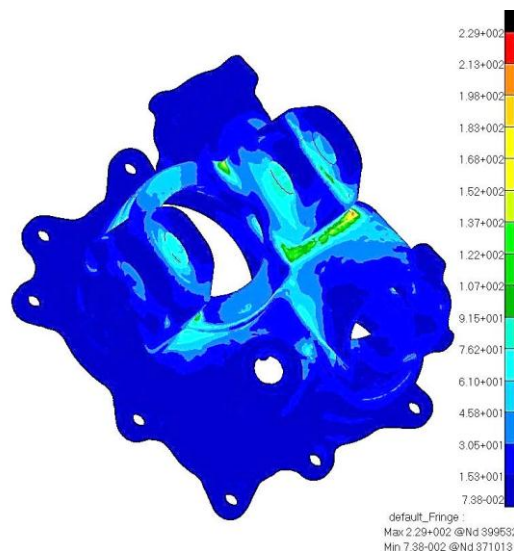


Рисунок 4. Распределение напряжений в оптимизированной конструкции корпуса при осевом сжатии

После того как деталь спроектирована в составе сборки, необходимо провести анализ прочностных характеристик с целью определения напряжений, возникающих в детали при ее работе. На рис. 4 показано изображение детали «корпус», испытывающей максимальное напряжение 229 МПа, что не превышает предельно допустимых значений предела прочности при растяжении для сплава ВАЛ20 (420 МПа). Ввиду того, что толщина стенок серийной детали больше, она испытывает меньшие напряжения – до 224 МПа, что не превышает предел прочности при растяжении для сплава АК7п.ч. (265 МПа).

Избыток прочности можно рассчитать по формуле $\eta = \frac{\sigma_B}{\sigma} - 1$:

– для сплава АК7п.ч. $\eta = \frac{265}{224} - 1 = 0,18$;

– для сплава ВАЛ20 $\eta = \frac{420}{229} - 1 = 0,83$.

Обсуждение и заключения

Разработка технологии изготовления фасонных отливок из современного литейного алюминиевого сплава ВАЛ20 литьем в разовые формы из ХТС и формы, изготовленные с помощью трехмерной печати, позволит снизить массу литой заготовки в 2 раза, трудоемкость изготовления деталей из литых заготовок – в 1,5 раза за счет снижения площади обрабатываемых поверхностей. Переход на высокопрочные алюминиевые сплавы позволит снизить массу конструкции до 16%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Основные итоги и направления развития материалов для перспективной авиационной техники /В сб. 75 лет. Авиационные материалы. Избранные труды «ВИАМ» 1932–2007: Юбилейный науч.-технич. сб. М. ВИАМ. 2007. С. 20–26.
2. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 7–17.
3. Высокопрочный сплав на основе алюминия и способ получения изделия из него: пат. 2443793 Рос. Федерация; опубл. 08.10.2010.
4. Корнышева И.С., Волкова Е.Ф., Гончаренко Е.С., Мухина И.Ю. Перспективы применения магниевых и литейных алюминиевых сплавов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 212–222.
5. Антипов В.В., Сенаторова О.Г., Ткаченко Е.А., Вахромов Р.О. Алюминиевые деформируемые сплавы //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 167–182.
6. Степанов А.В., Косарина Е.И., Саввина Н.А., Усачев В.Е. Макро- и микропористость в сплавах на основе алюминия и никеля, обнаружение ее рентгеноскопическими методами неразрушающего контроля //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 423–430.
7. Гончаренко Е.С., Корнышева И.С. Литейный алюминиевый сплав АЛ4МС для агрегатного литья //Технология легких сплавов. 2009. №3. С. 99–101.
8. Гончаренко Е.С., Трапезников А.В., Огородов Д.В. Литейные алюминиевые сплавы (к 100-летию со дня рождения М.Б. Альтмана) //Труды ВИАМ. 2014. №4. Ст. 02 (viam-works.ru).
9. Гончаренко Е.С., Корнышева И.С. Авиационные отливки, полученные литьем по газифицируемым моделям //Литейное производство. 2011. №6. С. 21–23.
10. Алябьев И.П. Производство изделий из металла в твердожидком состоянии /В сб. тезисов докладов конф. «Магниевые и литейные алюминиевые сплавы (новые материалы и технологии)». М.: ВИАМ. 2011. (CD-диск).
11. Левкина О.Ю. Применение информационных технологий в организации конструкторско-технологической подготовки литейного производства авиастроительного предприятия //Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2013. №1 (25). С. 115–122.
12. Гончаренко Е.С., Корнышева И.С. Перспективы применения отливок из алюминиевых сплавов //Литейное производство. 2012. №1. С. 21–23.

13. Гончаренко Е.С., Корнышева И.С. Отливки из алюминиевых сплавов. Исследования, материалы, технологии //Литейное производство. 2013. №2. С. 2–4.
14. Дуюнова В.А., Гончаренко Е.С., Мухина И.Ю., Уридия З.П., Волкова Е.Ф. Научное наследие академика И.Н. Фридляндера. Современные исследования магниевых и литейных алюминиевых сплавов //Цветные металлы. 2013. №9. С. 71–78.
15. Чирков Е.Ф. Темп разупрочнения при нагревах – критерий оценки жаропрочности конструкционных сплавов систем Al–Cu–Mg и Al–Cu //Авиационные материалы и технологии. 2013. №S2. С. 11–19.
16. Каблов Е.Н., Оспенникова О.Г., Вершков А.В. Редкие металлы и редкоземельные элементы – материалы современных и высоких технологий будущего //Труды ВИАМ. 2013. №2. Ст. 01 (viam-works.ru).

REFERENCES LIST

1. Kablov E.N. Osnovnye itogi i napravlenija razvitija materialov dlja perspektivnoj aviacionnoj tehniki [Main outcomes and directions of development of materials for advanced aircraft] /V sb. 75 let. Aviacionnye materialy. Izbrannye trudy «VI-AM» 1932–2007: Jubilejnyj nauch.-tehnič. sb. M. VIAM. 2007. S. 20–26.
2. Kablov E.N. Strategicheskie napravlenija razvitija materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda [Strategic directions of development of materials and technologies to process them for the period up to 2030] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 7–17.
3. Vysokoprochnyj splav na osnove aljuminija i sposob poluchenija izdelija iz nego [High strength aluminum-based alloy and method of producing thereof]: pat. 2443793 Ros. Federacija; opubl. 08.10.2010.
4. Kornysheva I.S., Volkova E.F., Goncharenko E.S., Muhina I.Ju. Perspektivy primeneniya magnievych i litejnyh aljuminievych spлавov [Prospects of application of magnesium and aluminum alloy casting] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 212–222.
5. Antipov V.V., Senatorova O.G., Tkachenko E.A., Vahromov R.O. Aljuminievye deformiruemye splavy [Aluminium wrought alloys] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 167–182.
6. Stepanov A.V., Kosarina E.I., Savvina N.A., Usachev V.E. Makro- i mikroporistost' v splavah na osnove aljuminija i nikelja, obnaruzhenie ee rentgenoskopichesкими методами nerazrushajushhego kontrolja [Macro-and micro-porosity in alloys based on alu-

- minum and nickel, her discovery of X-ray non-destructive testing] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 423–430.
7. Goncharenko E.S., Kornysheva I.S. Litejnyj aljuminievij splav AL4MS dlja agregatnogo lit'ja [Foundry aluminum alloy casting for an aggregate AL4MS] //Tehnologija legkih splavov. 2009. №3. S. 99–101.
 8. Goncharenko E.S., Trapeznikov A.V., Ogorodov D.V. Litejnye aljuminievye splavy (k 100-letiju so dnja rozhdenija M.B. Al'tmana) [Foundry aluminum alloy casting for an aggregate AL4MS] //Trudy VIAM. 2014. №4. St. 02 (viam-works.ru).
 9. Goncharenko E.S., Kornysheva I.S. Aviacionnye otlivki, poluchennye lit'em po gazi-ficiruemym modeljam [Aviation casting obtained by casting on gasified models] //Litejnoe proizvodstvo. 2011. №6. S. 21–23.
 10. Aljab'ev I.P. Proizvodstvo izdelij iz metalla v tverdozhidkom sostojanii [Manufacture of metal in the solid-liquid state] /V sb. tezisov dokladov konf. «Magnievye i litejnye aljuminievye splavy (novye materialy i tehnologii)». M.: VIAM. 2011. (CD-disk).
 11. Levkina O.Ju. Primenenie informacionnyh tehnologij v organizacii konstruktor-sko-tehnologicheskoi podgotovki litejnogo proizvodstva aviastroitel'nogo predpriyatija [Application of information technology in the organization design and technological preparation of foundry aircraft manufacturer] //Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region. Tehnicheskie nauki. 2013. №1 (25). S. 115–122.
 12. Goncharenko E.S., Kornysheva I.S. Perspektivy primeneniya otlivok iz aljuminievych splavov [Prospects of application of aluminum alloy castings] //Litejnoe proizvodstvo. 2012. №1. S. 21–23.
 13. Goncharenko E.S., Kornysheva I.S. Otlivki iz aljuminievych splavov. Issledovanija, materialy, tehnologii [Casting of aluminum alloys. Research, materials, technology] //Litejnoe proizvodstvo. 2013. №2. S. 2–4.
 14. Dujunova V.A., Goncharenko E.S., Muhina I.Ju., Uridija Z.P., Volkova E.F. Nauchnoe nasledie akademika I.N. Fridl'jandera. Sovremennye issledovanija magnievych i litejnyh aljuminievych splavov [Scientific Heritage of Academician I.N. Friedlander. Modern studies of magnesium and aluminum alloy casting] //Cvetnye metally. 2013. №9. S. 71–78.
 15. Chirkov E.F. Temp razuprochnenija pri nagrevah – kriterij ocenki zharoprochnosti konstrukcionnyh splavov sistem Al–Cu–Mg i Al–Cu [Temp softening when heated – evaluation criterion of heat resistance of structural alloys systems Al–Cu–Mg and Al–Cu] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2013. №S2. S. 11–19.

16. Kablov E.N., Ospennikova O.G., Vershkov A.V. Redkie metally i redkozemel'nye jelementy – materialy sovremennyh i vysokih tehnologij budushhego [Rare metals and rare earth elements – modern materials and high-tech future] //Trudy VIAM. 2013. №2. St. 01 (viam-works.ru).