

**ТЕХНОЛОГИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ И МАИНОСТРОЕНИЯ****621.74 + 338.4****А.Г. ЖУРИЛО**, канд. техн. наук., доц., НТУ «ХПИ»**СТАЛИСТЫЙ ЧУГУН КАК ПРЕДШЕСТВЕННИК
ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА**

Наведено історичні та технологічні дані щодо сталістого чавуна

Приведены исторические и технологические данные сталістого чугуна

Are the historical and technological data iron

Героическим русским металлургам, пехотинцам и артиллеристам времен Первой мировой войны посвящается

Одним из наиболее перспективных конструкционных материалов сегодня является высокопрочный чугун, то есть чугун, в котором содержащийся графит имеет форму сферическую или близкую к ней. Путем выбора режимов термической обработки, вида и способов модифицирования получают высокопрочные чугуны с пределом прочности при растяжении до 1200 и даже 2000 МПа, а часто с предусадочным расширением, близким к серому чугуну.

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом (ВЧШГ) – один из немногих литейных сплавов, день рождения которого известен достаточно точно. Первое сообщение о разработке ВЧШГ, появление которого, несомненно, является одним из величайших открытий в литейном производстве и литейном материаловедении XX века, А. Гагнебиным, К. Милисом и Н. Пилингом датируется 7 мая 1948 г. [1]. Производство отливок из высокопрочного чугуна является единственным видом литейных сплавов, который более, чем за 60 лет с даты создания этого материала не только не испытывало спадов в мировом производстве, но постоянно существенно увеличивалось [1]. Отливки из высокопрочного чугуна конкурируют в основном со стальными поковками и штамповками, отливками из серого и ковкого чугуна, а также из стали. Он отличается высокой износо- и коррозионной стойкостью. Поэтому его широко используют для производства коленчатых валов, поршневых колец и других деталей, работающих на трение, а также для производства труб, коррозионная стойкость которых намного выше, чем стальных [2].

Не менее известным, чем ВЧШГ был до конца 40-х годов XX века сталистый чугун, получивший широкое распространение во время Первой мировой войны. История введения его в производство мало освещена в литературе, а вместе с тем представляет особый интерес, не только с позиций истории литейного производства и металлургии, но и с технологической точки зрения.

Начиная с 1880—1885 гг. на французском рынке появились изделия из особого чугуна, который по своим свойствам далеко превосходил обыкновенный серый чугун. Чугун этот был известен под названием «арденского», по имени французских Арден, где он впервые и появился. Чугун этот выплавлялся в отражательных печах, и вначале только небольшое количество заводов его изготовляло и знало секрет его изготовления. Из этого арденского чугуна

изготавливались самые разнообразные предметы, как в области машиностроения, так и в хозяйственной, и благодаря своей прочности они получили широкое распространение во всей Франции. Непрерывный рост военного могущества Германии и её завоевательные стремления заставили изыскивать все меры для обеспечения французской армии возможно большим количеством снарядов в как казалось в то время, неизбежной войне. Одной из таких мер было приготовление снарядов из арденского чугуна. Арденский чугун, как стоящий по своему составу между чугуном и сталью, мог дать надежные снаряды, соединяя значительную прочность с простотой изготовления.

Появление и происхождение сталистого чугуна заключается в следующем: необычайный спрос на снаряды, созданный условиями Первой мировой войны, не мог быть удовлетворен одними лишь штампованными снарядами, поэтому необходимость снабжения действующих армий снарядами крупных калибров в значительном количестве привела артиллеристов к применению литых снарядов, условия и быстрота изготовления которых позволяли обеспечить их значительный выпуск, а снаряды эти стоили дешевле стальных.

Почему же французы остановились на этом арденском чугуне? Потому что спешная потребность и простота изготовления из сталистого чугуна, с одной стороны, и необеспеченность мартеновскими, прокатными и штамповальными цехами, выпускающих стальные снаряды в массовом количестве, с другой стороны, заставили французов обратить особое внимание на новый материал. Когда французы решили остановиться на арденском чугуне для литья снарядов, то они столкнулись с серьезным препятствием к применению этого чугуна в артиллерийском деле. Это были: приготовление его в отражательных печах, число которых в стране было мало, а главным образом неопределенность шихты и отсутствие технологии процесса плавки.

Чтобы сделать этот чугун пригодным и ценным материалом для массового литья снарядов в случае необходимости для Франции, было необходимо:

1. Применить для его изготовления вагранки.

2. Изучить его свойства и изыскать простые, научно обоснованные способы его изготовления и условия приемки, гарантирующие качество металла.

Изучением этих вопросов занялся капитан французской службы Праш, который с 1908 по 1912 г. получил из вагранки и исследовал чугун, известный впоследствии под названием сталистого чугуна. Труды Праша, являющиеся одним из интереснейших исследований сталистого чугуна, были напечатаны отдельным изданием французским артиллерийским ведомством еще в 1912 году. Почему же французы не остановились на сером чугуне? Потому что большие давления в канале орудий и большие скорости снарядов требуют от металла большой прочности, вследствие чего снарядам из простого чугуна приходилось давать большую толщину стенок при малой длине снаряда; таким образом, получался малый объем для помещения в снаряде взрывчатого вещества, что существенно понижало их боевое значение. Не говоря уже о таких дефектах при литье серого чугуна, как раковины, поры и т.п.

Но получение этого чугуна представляло особые трудности, поэтому вначале многие заводы терпели серьезные неудачи при литье этого вида чугуна.

Россия тоже была вынуждена переходить на такой чугун. Боевое снабжение русской артиллерии во время этой мировой бойни было из рук вон плохим. В качестве доказательства приведу несколько цифр по основной в то время 76 –мм пушке. В русской армии во время войны было подано 76-мм патронов: полевых 5 775 190, горных 3 228 790 шт. Состояло в запасах к началу войны 76-мм патронов: полевых 5 774 780, горных 657 825 шт. Всего изготовлено 76-мм патронов: полевых 56 549 970, горных 3 886 615 шт. Итого 76-мм патронов 60 436 585. Если же расход снарядов русской артиллерии сравнить с расходом выстрелов бывших союзников и противников России, то окажется, что русская артиллерия израсходовала в период мировой войны относительно совсем мало выстрелов. Действительно, во время войны 1914 – 1918 гг. всего было израсходовано выстрелов: **Франция:** 75-мм калибра около 163 630 000 выстрелов, 155-мм калибра около 28 000 000 выстрелов; **Германия:** всех калибров около 271 533 000 выстрелов; **Англия:** всех калибров около 170 386 000 выстрелов; **Австро-Венгрия:** всех калибров около 70 000 000 выстрелов. [3, с. 390]. Отметим, что общее количество выстрелов только из пушек (не считая винтовок, пулеметов, минометов, танков и ручных гранат) приближается к миллиарду (!!!) и это при 10 млн погибших в этой мировой бойне. Точность стрельбы замечательная. Не забудем, что в этой войне впервые были широко применены колючая проволока и железобетон, танки, авиация, зенитная артиллерия, подводные лодки, отравляющие газы и др.

Еще до начала Мировой войны, участники русско-японской войны предупреждали непосредственное начальство о необходимости введения больших калибров для орудий. Если 76 - мм орудие не могло разрушить глинобитные фанзы китайцев, то, что говорить о европейских деревнях, построенных из камня? Увы, изменений в русской артиллерии не произошло. И только во время войны, с резким увеличением потребности в 76-мм гранатах их начали изготавливать по упрощенному французскому методу из суррогатных материалов (вместо стали - чугун обыкновенный и сталистый), с целью скорейшего получения массового их выхода. К этому времени и относится появление в России сталистого чугуна, положившего начало легированию и модифицированию чугунов и приведшего к созданию высокопрочного чугуна.

Начиная войну, командование русской армии не сомневалось в том, что заготовленных запасов 76-мм патронов (по 1 000 на легкую и конную пушку и по 1 200 на горную) должно хватить, если не на год, но, во всяком случае, на первые 4...6 месяцев войны. Считалось, что за это время русские заводы успеют развернуть свою производительность, что к весеннему оживлению военных действий израсходованные запасы будут пополнены и русская полевая артиллерия вступит в кампанию 1915 г. вполне обеспеченная боевым комплектом 76-мм патронов. Предполагали, что так будет повторяться и впредь, если бы война затянулась, сверх всякого ожидания, на срок свыше года. Немаловажным фактором в неудовлетворительном снабжении снарядами армии являлось то, что долгие годы Главное Артиллерийское управление (ГАУ) возглавлял великий князь Сергей Михайлович, который кроме прицельной стрельбы из пушек по считал ничем в артиллерии не интересовался, а достижения в военном деле

попросту игнорировал. (Как лицо царской фамилии он не был подсуден и подчинился только царю.)

Отметим, что А.А. Игнатъев, будучи военным агентом во Франции, еще в конце 1912 года предупреждал тогдашнего начальника Генерального штаба генерала Я. Г. Жилинского и его заместителя генерала М. А. Беляева о необходимости запаса до 1500 снарядов на орудие, как у французов. Беляев отвечал, что по его мнению, имея 600 (!) снарядов на орудие и увеличив это количество до 900, часть из которых будет в разобранном виде (одна часть – в Самаре, а вторая – во Львове! – А.Ж.), русская артиллерия будет подготовлена к войне [5, с. 382-383]. Предположения эти не оправдались. С августа 1914 г., едва начались боевые действия, как из армии посыпались самые настойчивые и тревожные требования на пушечные 76-мм патроны. По подсчету Ставки израсходовано было 76-мм патронов за три недели **«в среднем на каждое орудие около тысячи»**, т. е. участвовавшими в боях орудиями был израсходован весь комплект выстрелов, рассчитанный на год (!).

Далеко не все количество снарядов было получено на отечественных военных заводах. Мобилизация квалифицированных рабочих в армию, выжидание более высокой цены на снаряды, разгильдяйство, да и просто саботаж привели к тому, что снарядный голод в начальном периоде войны был огромен. Никого в Ставке Главного командования не волновало, что расхлебывать все это придется великолепной русской пехоте, вынужденной идти в атаку без огневой поддержки артиллерии, на неразрушенные доты, на несмятые ряды колючей проволоки, на пулеметы и орудия противника.

Нашлись, однако, в русской армии два человека, которым удалось переломить ситуацию: выдающийся военный дипломат, а впоследствии и замечательный писатель - генерал Алексей Алексеевич Игнатъев, находившийся в то время на должности военного агента во Франции и сумевший организовать местную промышленность на выпуск снарядов по русским образцам, выпустив около 12 млн (!) 76 мм снарядов. Сложность работы, проделанной Игнатъевым, ошеломляет – в военное время в чужой воюющей стране найти рабочих, материалы, организовать приемку и отправку снарядов в Россию и все это за французский кредит, без привлечения русского капитала. Да только выпуск русских снарядов, калибр которых исчислялся в дюймах и в линиях, во Франции, с ее метрической системой, был тем камнем преткновения, о который мог сломать шею любой снабженец, да еще иностранец. А отправка в Россию (в Мурманск и Архангельск) на 120 нагруженных до ватерлинии пароходах вооружения, биноклей, тиглей, винтовок и многого другого имущества? А курирование Экспедиционного русского корпуса во Франции? [5, с. 566]. Это уже не простое выполнение своих обязанностей, это был подвиг! Однако использование военных материалов в России тоже оставляло желать лучшего. По словам самого Игнатъева: «... перевозка по железным дорогам из Архангельска на Петроград и Москву была так плохо налажена, что, по свидетельству французов, побывавших в этом порту, они в 1916 году проезжали на санях по крышкам ящиков с французскими самолетами, занесенных снегом и высланных мною ещё летом 1915 года!» [5, с. 565]

Вторым был генерал Семен Николаевич Ванков - уполномоченный ГАУ, которому удалось наладить работу заводов в России. Организация эта стоила немало усилий. Только под нажимом на чиновников со стороны военной комиссии Государственной думы дело сдвинулось с места [5, с. 510]. Общее количество предприятий, входивших в систему «Организации Ванкова», установить трудно; в документах и литературе это число колеблется примерно в диапазоне 380...564, составляя в среднем 450 предприятий. Масштабы и характер этих предприятий самые различные. Наряду с крупными предприятиями тяжелой промышленности, такими, как Коломенский, Мальцевские, Тульский, Брянский заводы, акционерные общества Донецкое металлургическое, Краматорское металлургическое, «Динамо», «Русский Провиданс», Общество русской железной промышленности, «Русский Рено», Днепровское металлургическое и др., мастерские МВТУ, ряд технических училищ, крупнейшие текстильные предприятия (Прохоров, Морозов, Тверская мануфактура и др.), химические предприятия, заводы и фабрики Военно-промышленных комитетов и др. Вся эта гигантская масса самых разнородных предприятий управлялась из единого центра, работала по единой программе, но единым техническим условиям, централизованно снабжалась топливом, сырьем, материалами, оборудованием, рабочей силой и т. п. Кроме того, Ванков имел большую административную власть над собственниками предприятия. «Организация Ванкова» явилась опытом технической мобилизации в Средней и Южной России мелких и средних предприятий, опытом, наиболее удачным из всего, что создали царское правительство и русская буржуазия за время первой мировой войны» [6, с.106]. Количественные результаты работы «Организации Ванкова» видны из следующих данных, отражающих поставки с заводов по 1 января 1918 г: 76-мм гранат (корпусов) — 13 683 334; 122-мм гранат (корпусов) — 104 956; 152 мм гранат (корпусов) — 488 487; запальных стаканов 76-мм — 12 250 863; запальных стаканов 152-мм - 730 294; запальных стаканов УС - 646 512; детонаторных трубок снаряженных – 521 260; а детонаторных трубок неснаряженных 4 096 975.

Большая часть снарядов, изготовленных Организацией, — это 76-мм гранаты. Для сравнения укажу, что вся русская промышленность за годы войны изготовила около 28 млн. 76-мм гранат. Таким образом, «Организация Ванкова» произвела почти половину всех 76-мм гранат, выпущенных в России. Интересно, что мощная группа Путиловского завода, заводов Русского общества изготовления снарядов, Коломенского и Русско-Балтийского заводов (то есть заводов, по своей мощности превосходящих весь парижский район! [6, с. 509]) дала лишь 3 млн. 76-мм гранат, т. е. в 4,5 раза меньше, чем «Организация Ванкова». Но Организация изготавливала также тяжелые снаряды, запальные стаканы, взрыватели, другое военное снаряжение и т. п. [6, с. 107]

Именно с именем С. Н. Ванкова (впоследствии профессора) в отечественной металлургии и связано начало производства «сталистого» чугуна, явившегося предшественником чугуна высокопрочного. Первые снаряды из сталистого чугуна появились на действующем французском фронте в январе 1915 года, и широкое их применение в бою подтвердило их высокие боевые качества, вследствие чего производительность их во Франции в дальнейшем была утроена.

Сталистый чугун широко стал известен в России с 1915 г. для изготовления снарядов преимущественно средних и больших калибров. После войны были попытки по изготовлению частей приборов и машиностроительных деталей, но это были частные случаи применения этого сплава.

Причинами прочности сталистого чугуна являлись относительная бедность его углеродом и значительный процент связанного углерода. Обеднение чугуна углеродом, получившееся в арденском чугуне вследствие выгорания углерода в отражательной печи, не могло быть получено тем же способом в вагранке, так как последняя, наоборот, обогащает металл углеродом. Отливки из чугуна, выплавленного в отражательных печах, были очень прочны с очень плотным серым зерном. Сталистый чугун электрической печи - чугун малоуглеродистый, малографитистый, светло-серого цвета. Чугун же ваграночный — многоуглеродистый, графитистый. Он может быть и светло-серым, но только тогда, если в нем будет много цементита. Причина этому проста: вводимый в вагранку стальной лом и стружка у фурм насыщается углеродом, и получение малоуглеродистого чугуна в вагранке при плавке шихты только из чугуна и кокса невозможно. Избыток графита понижает механические качества чугуна. Обеднение углеродом чугуна при плавке в вагранке удалось достичь присадкой значительных количеств стали. Арденский чугун, выплавляясь в отражательных печах, получался малосернистым, в вагранках же чугун, находясь в непосредственном соприкосновении с топливом, сильно насыщается от него серой. Чрезвычайно вредное влияние серы на прочность чугуна заставило всеми мерами бороться против нее, создавая, таким образом, дополнительную трудность при изготовлении сталистого чугуна. В результате получается чугун состава: C = 3 ± 0,1; Mn = 0,7 ± 0,2; Si = 1,3 ± 0,3; P - не более 0,15 ; S - не более 0,12% [7, с. 20].

Уместно отметить, что и в России были в прошлом самостоятельные попытки к получению чугуна, сходного со сталистым. Попытки эти были не только в области машиностроения, но и в снарядном деле; что подтверждается следующим: при рассмотрении вопроса о производстве сталистого чугуна в Артиллерийском Комитете (журнал № 3271 от 23 августа 1916 года) в заседании 1-го Отдела Артиллерийского Комитета профессор Д. К. Чернов сообщил, что получение сталистого чугуна уже давно испытано в России для отливки бронебойных снарядов крупных калибров: так, в семидесятых годах XIX ст. по инициативе Н. И. Путилова на его заводе сталистый чугун приготавливался путем преждевременного прекращения процесса в бессемеровских конверторах. Что же касается получения чугуна в вагранках с присадкой стали, то такие опыты были широко произведены самим проф. Д.К. Черновым на Обуховском заводе ещё в 1870 – е гг. XIX века. Еще тогда Д.К. Черновым было выяснено, что стальные мелкие высечки и обрубки, весом до 20 кг, можно было использовать в количестве до 50% общего веса шихты для вагранки. Металл разливали максимально нагретым, около 1400 °С.

Таким образом, Первая мировая война показала, что расчеты на молниеносный исход войны не оправдались. Накопленные в мирное время запасы оружия и боеприпасов, за счет которых генеральные штабы надеялись

вести военные действия, оказались израсходованы в течение первых двух-трех месяцев войны. Уже в сентябре 1914 г. все воюющие страны стали испытывать кризис боевого снабжения, из которого пытались выйти любыми методами, одним из которых и стал переход на производство сталистого чугуна.

Выводы

Противоборствующие страны, готовясь к Первой мировой войне, не предвидели ни ее продолжительности, ни колоссальности масштаба, ни огромного расхода предметов боевого снабжения вообще и в особенности расхода боевых припасов, достигшего чудовищных размеров. В течение всей мировой войны было израсходовано в общей сумме до миллиарда (!) выстрелов всех калибров: русской артиллерией более 50 миллионов, австро-венгерской до 70 миллионов и германской около 272 миллионов; французская артиллерия израсходовала выстрелов только 75-мм и 155-мм калибров около 192 млн.

Пытаясь выйти из сложившегося положения, воюющие страны вводили в производство всевозможные заменители привычных материалов для изготовления вооружения. Одним из них стал сталистый чугун – промежуточный материал между серым чугуном и сталью, широко применяющийся в военном деле и сегодня [8]. Практически одновременно он исследовался вначале в России проф. Д. К. Черновым и несколько позже во Франции – капитаном Прашем. Послевоенное развитие технологии плавки и обработки чугуна привело вначале к появлению модифицированного чугуна, а впоследствии – к появлению синтетического чугуна и высокопрочного чугуна, несомненно, являющегося важнейшим изобретением в металлургии и литье XX века – единственном сплаве, мировое производство которого увеличивается каждый год, уже в течение более, чем 60 лет.

Список литературы: 1. Ductile iron: 25 year saga of success.—Mod. Cast., 1973, May, p. DI 1—DI 32. 2. Справочник по чугунному литью. /Под редакцией проф. Гиршовича Н. Г. Л. Машиностроение, 1978, 757 с. 3. Барсуков Е.З. Русская артиллерия в мировую войну. Т. 1. М.: Воениздат, 1939. – 396 с. 4. Барсуков Е. З. Русская артиллерия в мировую войну. Т. 2. М.: Воениздат. 1940.- 462 с. 5. Игнатъев А. А. Пятьдесят лет в строю. М.: Воениздат, 1988.- 751 с. 6. Черняк Е.Н. Семен Николаевич Ванков. М. Наука, 1966. - 210 с. 7. Ванков С.Н. Сталистый чугун. ГТИ, Москва, 1930.- 108 с. 8. Журило А.Г. Научные школы металлургов Харькова до начала Второй мировой войны. // Материалы V Международной научно-практической конференции «Динамика современной науки». София, 2009, т.6. - С. 24...28

Поступила в редколлегию 21.12.2010

УДК 539.3:004.942

В.И. ОЛЕВСКИЙ, канд. техн. наук, доц., УДХТУ, г. Днепропетровск

О ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДА ГОМОТОПИЧЕСКОГО ВОЗМУЩЕНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ МЕХАНИКИ

Показана возможность использования метода гомотопического возмущения для решения регулярных задач механики при условии формулировки его в форме модифицированного метода продолжения по параметру и обобщенного суммирования по схеме Паде.

Ключевые слова: продолжение по параметру, гомотопическое возмущение, схема Паде.