

Разработка и исследование технологии получения стальной отливки с применением холодно-твердеющей смеси

¹КУЛИКОВ Виталий Юрьевич, к.т.н., профессор, зав. кафедрой, mlpikm@mail.ru,

^{1*}АЛИНА Арайлым Алтынбековна, докторант, преподаватель, altynbekovna_21@mail.ru,

¹МАЛАШКЕВИЧУТЕ-БРИЙАН Елена Иосасовна, магистр, старший преподаватель, elenei66@mail.ru,

¹ДОСТАЕВА Ардак Мухамедиевна, PhD, и.о. доцента, ardak_erkekyz@mail.ru,

¹НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Казахстан, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Основопологающие свойства в приобретении требуемых эксплуатационных свойств литых изделий зависят от многих факторов, основными из которых являются: качество самой формы, материалов формы для ее изготовления, а также выбора оптимальных параметров режимов технологического процесса и свойств самих материалов формы. В литейной промышленности выбор материала формы и метода литья является сложной задачей. Есть несколько видов формовки, но более 70% всех металлических отливок обычно разрабатываются с помощью песчаного формования (ПГФ). Литье в песчаные формы состоит из двух процессов, таких как литье в сырые песчаные формы и процесс литья в песчаные формы с химическими связями. В статье основное внимание уделяется литью в песчаные формы с химическими связями, т.е. системам без спекания (холодно-самотвердеющая система), отвержденным эпоксидной смолой. Показан механизм получения отливок с применением холодно-твердеющих смесей, и в сравнительной форме в ПГФ. Далее исследованы микроструктуры, полученных образцов, описаны результаты проверки на механические свойства.

Ключевые слова: эпоксидная смола, песок, образец, шиф, отливка, холодно-твердеющая смесь, песчано-глинистая форма, микроструктура, фазовые составляющие, твердость.

Введение. В настоящее время более распространенный вид получения отливок – это литье в песчано-глинистые формы. Разовые песчано-глинистые формы могут формироваться и на земле (полу цеха), и в специальных опоках. В почве получают обычно крупногабаритные отливки, а в опоках – мелкие отливки по моделям [1]. Поэтому для сравнительных работ был выбран метод получения отливок в ПГФ.

Одной из перспективных разработок в направлении изготовления форм для получения тонкостенных отливок является использование холодно-твердеющих смесей (ХТС). Масштабы применения ХТС непрерывно растут. Способ получения отливок с помощью ХТС внедрен в производство еще в 80-х годах прошлого века. Но по причине дороговизны материалов и их вреда для здоровья человека и окружающей среды не получили применения в производстве РК. В то же время соседние страны, такие как Россия и Украина, широко применяют этот процесс для получения отливок разных габаритов, в том числе со стенка-

ми менее 5-10 мм [2].

Промышленные работы по получению отливок выполнялись на действующем предприятии ТОО «КМЗ имени Пархоменко».

Методы исследования. К подготовительной части относится выполнение работ по подготовке наполнителя, связующих материалов, опоки и модели. Выделим последовательно все работы по подготовительной части:

- для литья выбрана деревянная модель струбцины для прижима крышки элеватора;

- подготовлены стандартные металлические опоки габаритом 400*400*100. В одной опоке расположили 2 модели с литниковой системой;

- подготовлен состав песчано-глинистой формы: песок кварцевый, глина бентонитная (соотношение глина-песок – 1/20), вода;

- подготовлен состав ХТС формы согласно разработанному оптимальному составу: песок кварцевый месторождения Карасор, глина бентонитная месторождения Карасор – 15% от общей массы смеси и эпоксидная смола ЭД-20 с отверди-

телем ПЭПА – 15% от общей массы смеси;

- подготовлены шихтовые материалы для выплавки: отходы листового металла (Ст3), возврат стального лома, трубы, металлоконструкции из углового проката и т.д.

К основной части относятся работы по получению отливок. Для выплавки была подобрана конструкционная среднеуглеродистая литейная сталь 35Л. Сталь выплавляли в дуговой сталеплавильной печи ДСП-1,0. Основными элементами ДСП является рабочее пространство, образованное огнеупорной футеровкой. Температура плавления металла составила 1550°C.

Научные результаты. Для эксперимента были использованы формы, имеющие различный характер материалов и связующих для ее изготовления: форма из ПГС (песчано-глинистая смесь) и форма из ХТС (холодно – твердеющая смесь) (рисунок 1). В формы производилась заливка металла с температурой 1600°C.

Заключительная часть состояла в получении тонкостенных отливок из стали 35Л, отливка – струбцина, которая должна была обладать повышенным качеством поверхности и улучшенной микроструктуры. Условия и время затвердевания соответствовали стандарту от 40 до 60 минут при нормальных условиях (рисунок 2).

Для исследования микроструктур образцов были выполнены все этапы получения шлифов, то есть получение ровной поверхности, полировка и шлифовка. Шлифы обрабатывались на шлифовально-полировочном станке Laboforce (рисунок 4).

Тонкостенные отливки, полученные на ПГФ, имели поверхностную газовую пористость, во внутренних слоях образцов обнаружены несплошности в виде мелких газовых пустот (рисунок 5).

Также на образцах, представленных на рисунке 5а (фото), можно наблюдать грубую шероховатую поверхность отливки, вследствие спекания

частиц формы с металлом при затвердевании, что является устранимым дефектом, но дополнительно повышает себестоимость литых изделий за счет дополнительной механической обработки.

На рисунке 5б (фото), в продольном разрезе образца выявлены усадочные раковины, образовавшиеся вследствие усадки при затвердевании металла, что подтверждает повышенное газообразование литейных форм из песчано-глинистых смесей [3-4].

В статье уделяется внимание тонкостенным отливкам, (толщина стенок составляет 4 мм), так как особую роль в точности размеров и качестве поверхности тонких стенок играют качество формы и свойства компонентов, входящих в форму. Согласно литературным данным, состав ПГС в значительной степени влияет на шероховатость отливок, а точнее, на размер зерен песка. По вышепредставленным рисункам статьи, можно отметить, что определенный, оптимально выбранный состав ХТС [5] положительно отразился на качестве поверхности – шероховатость поверхности отливки составила $Rz = 60$ по сравнению с ПГС, которая составила $Rz = 13$. Предположительно этот факт объясняется тем, что смола в составе ХТС, находящаяся в определенном процентом ее содержании, заполняет пустоты, которые всегда будут присутствовать при получении формы ПГС и которая впоследствии сыграет роль в получении хорошей чистоты поверхности и качества.

Очевидно, что минимальный расход смолы с учетом получения необходимых технологических параметров позволит снизить себестоимость формы и литья в целом. Минимально возможный расход связующего определяется качеством применяемого песка. В эксперименте использовалась добавка с 2-3% глин казахстанских месторождений. Желательно применение обогащенных песков с содержанием глинистой составляющей не более 0,5% и с зернистостью не менее зернистости



а



б

Рисунок 1 – а) Форма из ХТС; б) Форма из ПГС



а) полученная с применением смеси ХТС;
б) полученная с применением смеси ПГС.

Рисунок 2 – Готовые отливки – струбцина



а) полученная с применением смеси ХТС;
б) полученная с применением смеси ПГС.

Рисунок 3 – Струбцины, механически очищенные в галтовочном барабане

песка марки 1K02A [5-7].

Согласно ГОСТ 2789-84 обозначение классов чистоты поверхностей (таблица 1), типом направлений неровностей поверхности устанавливается – «произвольное» [8].

Образцы из стали 35Л, полученные в формах с добавкой смолы, были исследованы до травления и после травления на оптическом микроскопе

Altami (Германия). Поверхности образцов были протравлены спиртовым раствором 3% азотной



Рисунок 4 – Шлифы из стали 35Л, полученные на формах ХТС и ПГФ



а



б

а) на поверхности – мелкие многочисленные газовые поры;
б) газовые раковины, находящиеся в полости тонкостенной отливки
Рисунок 5 – Тонкостенные отливки, полученные на формах из ПГС

кислоты HNO_3 (рисунок 7). Неметаллические включения в стали сравнивались с использованием эталонной шкалы ГОСТ 1778-70 (ИСО 4967-79) «Металлографические методы определения неметаллических включений» [10].

Микротвердость шлифов была проверена на твердомере Виккерса согласно ГОСТ 2999-75 и ISO 6507 Металлы и сплавы [4]. Измерение твердости по Виккерсу. Параметры при измерении твердости соответствовали стандарту – нагрузка составляла – 20 кГс, время выдержки 15 секунд.

Микротвердость образцов, полученная в холодно-твердеющей форме (предлагаемый состав формы – 20% эпоксидной смолы, 15% глины) составила 192,2 HV, в то время как в отливке, полученной в песчано-глинистой форме, микротвердость образца составила 175,3 HV.

Микротвердость отливки соответствует стандарту ГОСТ Р ИСО 6507-1-2007, пункт 7.2. Металлы и сплавы [9].

Сравнения измерений микротвердости двух образцов показывает, что состав смеси также вносит изменения в показатели механических свойств, ранее были отмечены различия в микроструктуре образцов, т.е. дисперсность фаз была

различной.

Выводы. В результате проведенных исследований образцов тонкостенной отливки из стали 35Л, полученных в ПГС и ХТС формах с определенным процентным соотношением компонентов и добавок формы, входящих в ее состав, можно сделать следующие выводы:

1. Шероховатость поверхности образца, полученного в ХТС, с добавлением эпоксидной смолы 20% имела $R_z = 60$ мкм; шероховатость в ПГС имеет $R_z = 13$ мкм.

2. Форма ХТС обеспечивает достаточно высокое качество поверхности отливки, исключает образование газовых раковин, пустот и образование пригара.

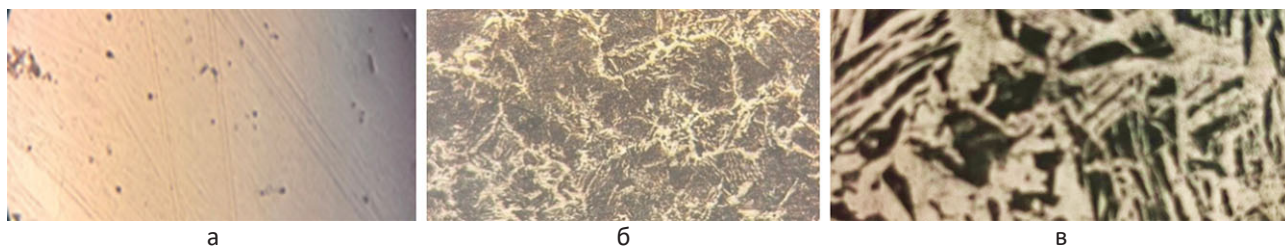
3. Исходя из пунктов 1 и 2, получение отливок с добавлением смолы (ХТС) позволяет снизить припуски на механическую обработку до 0,15 мм, что соответствует 7-8 классу точности отливок согласно ГОСТ 26645-85.

4. Микроструктура образцов из литой стали 35Л также имеет отличительный характер: в ПГС форме ферритная фаза проявляется в виде грубых выделившихся пластин (видманштеттова структура) игольчатого строения феррит, а



- а) отливка, полученная с применением смеси ХТС – на поверхности отливки не обнаружена грубо затвердевшая корка, газовые поры визуально не обнаруживаются;
б) отливка, полученная с применением смеси ПГС – характерная грубодисперсная корковая поверхность, с незначительной частью мелких газовых пор.

Рисунок 6 – Поверхность отливок



- а) образец, полученный в форме с добавлением эпоксидной смолы до травления – отсутствие микропор, локализованные в значительном количестве неметаллические включения сульфидного характера;
б) микроструктура образца полученного в форме с добавлением эпоксидной смолы после травления – мелкоигольчатое строение феррита, равномерно распределенного, отсутствие грубовыделившихся избыточных пластин феррита;
в) микроструктура образца полученного в песчано-глинистой форме; ферритная фаза проявляется в виде грубых выделившихся пластин (видманштеттова структура), а также игольчатого строения феррит.

Рисунок 7 – Микроструктура в разрезе поверхности образцов из литой стали 35Л, полученной с добавлением эпоксидной смолы (увеличение $\times 500$)

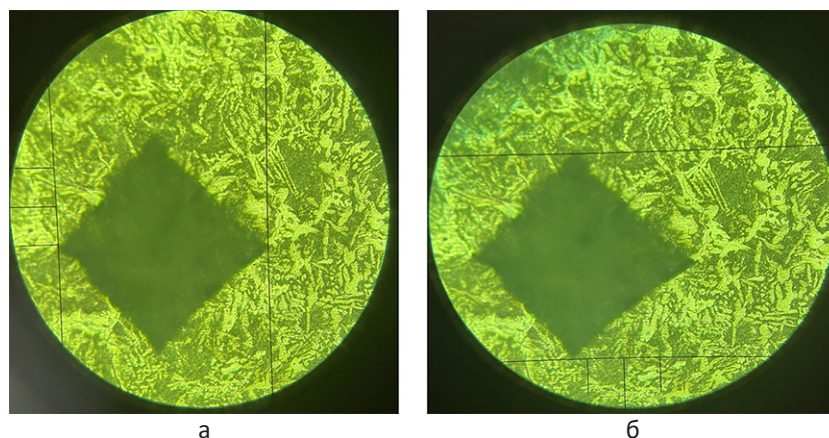


Рисунок 8 – Отпечаток на приборе Виккерс

образец, полученный в ХТС форме, имеет феррито-перлитную структуру без выраженного видманштетта (избыточных пластин феррита не просматривается).

Ферритная сетка в обоих образцах обнаруживается и расположена по границам бывших аустенитных зерен. Такое различие в строении образовавшихся фаз литой стали после ее затвердевания исключает использование высокотемпературной нормализации (950-970°C) в образце, полученном в ХТС форме.

5. Образование видманштеттовой структуры

связано, прежде всего, со скоростью охлаждения жидкого металла и величиной (степенью) переохлаждения в момент распада аустенита, можно утверждать, что структура образца, полученная с применением смолы (ХТС), обладает более однородной и дисперсной структурой. Дисперсное строение фаз объясняется, тем, что форма ХТС имеет в сравнении с формой ПГС большую степень переохлаждения, скорость роста кристаллов проходит медленнее, и, как следствие, это ведет к образованию более мелкого строения продуктов распада аустенита.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Alina A.A., Kulikov V.Yu., Omarova A.E., Kovalev P.V. X-RAY phase analysis (XPA) of a cold-hardening mixture (CHM) and the effect of the mixture properties on the casting // *Metalurgija* (Zagreb, Croatia). 2023. Т. 63. No. 2. Pp. 271-274.
2. Kulikov V.Y., Alina A.A., Kovalev P.V., Dostayeva A.M. Study of thermal resistance of cold mixtures with clay addition // *Комплексное Использование Минерального Сырья*, Алматы, 2021, № 1, С. 82-97.
3. Савинов А.С., Тубольцева А.С., Осипова О.А., Дьяченко Д.Я., Савинкина О.В. Применение разностных схем расчета температурного поля сырой песчано-глинистой формы // *Литейные процессы*. 2010. ТОМ 9. С. 102-106.
4. Wu Z., Yang S., Liu W., Li Y. Permeability analysis of gas hydrate-bearing sand/clay mixed sediments using effective stress laws. *Journal of Natural Gas Science and Engineering* 97 (2022), 533-542.
5. Булитко Е.В. Исследование состава холоднотвердеющей смеси на основе фосфатного связующего // *Технологии металлургии, машиностроения и материалообработки*. 2018. № 17. С. 65-70.
6. Бакиров Р.Б., Сон И.А., Жумат Р.А.Б. Термодинамические методы управления составами холоднотвердеющих формовочных смесей // *Технические науки – от теории к практике*. 2014. № 39. С. 72-78.
7. Илларионов И.Е., Гильманшина Т.Р., Ковалева А.А., Борисюк В.А. Исследование глубины проникновения самовысыхающих противопожарных покрытий в холоднотвердеющие смеси // *Черные металлы*. 2019. № 1. С. 21-25.
8. ГОСТ 2789-59 Обозначение классов чистоты поверхностей.
9. ГОСТ 2999-75 и ISO 6507 Металлы и сплавы.
10. ГОСТ 1778-70 (ИСО 4967-79) Металлографические методы определения неметаллических включений.

Суықтай беріктенетін қоспаны қолдана отырып, болат құю технологиясын әзірлеу және зерттеу

¹КУЛИКОВ Виталий Юрьевич, т.ғ.к., профессор, кафедра меңгерушісі, mlpikm@mail.ru,

¹*АЛИНА Арайлым Алтынбековна, докторант, оқытушы, altynbekovna_21@mail.ru,

¹МАЛАШКЕВИЧУТЕ-БРИЙАН Елена Иозасовна, магистр, аға оқытушы, elenei66@mail.ru,

¹ДОСТАЕВА Ардак Мухамедиевна, PhD, доцент м.а., ardak_erkekyz@mail.ru,

¹«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Қазақстан, Қарағанды, Н. Назарбаев даңғылы, 56,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Құйма бұйымдарының қажетті пайдалану қасиеттерін сатып алу көптеген факторларға байланысты, олардың негізгілері қалыптың сапасы, оны өндіруге арналған материалдар, сонымен қатар технологиялық процестің оңтайлы параметрлерін және қалып материалдарының қасиеттерін таңдау болып табылады. Құю өнеркәсібінде қалып материалын таңдау және құю әдісі күрделі міндет болып табылады. Қалыптаудың бірнеше түрі бар, бірақ барлық металл құймалардың 70%-дан астамы әдетте құмды-сазды қалыптау (ҚСҚ) арқылы жасалады. Құм-сазды қалыптарында құю екі процестен тұрады, мысалы, ылғалды құмды қалыптарға құю және химиялық байланысы бар құмды қалыптарға құю процесі. Мақалада химиялық байланыстары бар құмды қалыптарды құюға, яғни эпоксидті шайырмен қатайтылған агломерациясыз жүйелерге (суық өзін-өзі қатайтатын жүйе) назар аударылады. Суықтай беріктенетін қоспаларды (СБҚ) қолдана отырып, құю механизмі және ҚСҚ-да салыстырмалы түрде көрсетілген. Әрі қарай, алынған үлгілердің микроқұрылымдары зерттеліп, механикалық қасиеттерді тексеру нәтижелері сипатталған.

Кілт сөздер: эпоксидті шайыр, құм, үлгі, шлиф, құю, суықтай беріктенетін қоспа, құм-сазды қалып, микроқұрылым, фазалық компоненттер, қаттылық.

Development and Research of Technology for Obtaining a Steel Casting Using a Cold-hardening Mixture

¹**KULIKOV Vitaly**, Cand. Of Tech. Sci., Professor, Head of Department, mlpikm@mail.ru,

^{1*}**ALINA Araylym**, Doctoral Student, Teacher, altynbekovna_21@mail.ru,

¹**MALASHKEVICHUTE-BRIYAN Elena**, Master, Senior Lecturer, elenei66@mail.ru,

¹**DOSTAEVA Ardak**, PhD, Acting Associate Professor, ardak_erkekyz@mail.ru,

¹NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», Kazakhstan, Karaganda, N. Nazarbayev Avenue, 56,

*corresponding author.

Abstract. Fundamental in acquiring the required operational properties of cast products depends on many factors, the main of which are the quality of the mold itself, the mold materials for its manufacture, as well as the choice of the optimal parameters of the technological process modes and the properties of the mold materials themselves. In the foundry industry, the choice of mold material and casting method is a complex task. There are several types of molding, but more than 70% of all metal castings are usually developed using sand molding (SMF). Sand casting consists of two processes such as wet sand casting and chemical bond sand casting process. The article focuses on chemical bonded sand casting, i.e. non-sintering systems (cold self-hardening system) cured with epoxy resin. The mechanism for producing castings using cold hardening mixtures is shown, and in a comparative form in SMF. Next, the microstructures of the obtained samples are investigated, and the results of testing for mechanical properties are described.

Keywords: epoxy resin, sand, sample, thin section, casting, cold-hardening mixture, sand-clay mold, microstructure, phase components, hardness.

REFERENCES

1. Alina A.A., Kulikov V.Yu., Omarova A.E., Kovalev P.V. X-RAY phase analysis (XPA) of a cold-hardening mixture (CHM) and the effect of the mixture properties on the casting // *Metalurgija* (Zagreb, Croatia). 2023. T. 63. No. 2. Pp. 271-274.
2. Kulikov V.Y., Alina A.A., Kovalev P.V., Dostayeva A.M. Study of thermal resistance of cold mixtures with clay addition // *Kompleksnoye Ispol'zovaniye Mineral'nogo Syr'ya* [Integrated Use of Mineral Raw Materials], Almaty, 2021, no. 1, pp. 82-97.
3. Savinov A.S., Tubol'tseva A.S., Osipova O.A., D'yachenko D.Ya., Savinkina O.V. Primeneniye raznostnykh skhem rascheta temperaturnogo polya syroy peschano-glinistoy formy [Application of difference schemes for calculating the temperature field of a raw sandy-clayey form] // *Liteynyye protsessy* [Casting processes]. 2010. VOL. 9. Pp. 102-106.
4. Wu Z., Yang S., Liu W., Li Y. Permeability analysis of gas hydrate-bearing sand/clay mixed sediments using effective stress laws. *Journal of Natural Gas Science and Engineering* 97 (2022), 533-542.
5. Bulitko Ye.V. Issledovaniye sostava kholodnotverdeyushchey smesi na osnove fosfatnogo svyazuyushchego [Investigation of the composition of a cold hardening mixture based on a phosphate binder] // *Tekhnologii metallurgii, mashinostroyeniya i materialoobrabotki* [Tekhnologii metallurgii, mashinostroyeniya i materialoobrabotki]. 2018. No. 17. Pp. 65-70.
6. Bakirov R.B., Son I.A., Zhumat R.A.Y. Termodinamicheskiye metody upravleniya sostavami kholodnotverdeyushchikh formovochnykh smesey [Thermodynamic methods for controlling the composition of cold-hardening molding sands] // *Tekhnicheskiye nauki – ot teorii k praktike* [Technical sciences – from theory to practice]. 2014. No. 39. Pp. 72-78.
7. Illarionov I.Ye., Gil'manshina T.R., Kovaleva A.A., Borisuk V.A. Issledovaniye glubiny proniknoveniya samovyskhayushchikh protivoprigarnykh pokrytiy v kholodnotverdeyushchiye smesi [Investigation of the penetration depth of self-drying non-stick coatings into cold hardening mixtures] // *Chernyye metally* [Black metals]. 2019. No. 1. Pp. 21-25.
8. GOST 2789-59 Oboznacheniye klassov chistoty poverkhnostey [Designation of surface cleanliness classes].
9. GOST 2999-75 i ISO 6507 Metally i splavy [Metals and alloys].
10. GOST 1778-70 (ISO 4967-79) Metallograficheskiye metody opredeleniya nemetallicheskiy vklyucheniy [Metallographic methods for the determination of non-metallic inclusions].