

МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫЙ КОМПАУНД НА ОСНОВЕ БЕНТОНИТА И НАНОДИСПЕРСНОГО ПИРОУГЛЕРОДА

Григор А.С. – к.т.н., ст. преподаватель

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (Барнаул)

В практике производства отливок из чугуна на сегодняшний день широко применяются комплексные добавки (компаунды), позволяющие за счет малого количества компонентов более тщательно осуществить перемешивание единых песчано-глинистых смесей (ЕПГС). Содержащиеся в них компоненты, улучшают противоположные, связующие, пластические, технологические свойства смеси. Такими компонентами могут быть молотые угли, крахмалит, кальцинированная сода, поверхностно-активные вещества и другие. Компаунд обычно содержит необходимое количество бентонита. Применение бентонита в составе комплексных связующих может значительно повысить свойства приготовленных на их основе формовочных смесей и значительной степени, решающих проблему улучшения качества поверхности отливки – предотвращение пригара, ужимин и снижение шероховатости, что в свою очередь является следствием высокого качества ЕПГС.

В настоящее время в России разработаны и прошли производственные испытания комплексные добавки – Блескол, Литакарб и БЛЕСКОЛ-П. Литакарб и БЛЕСКОЛ-П эффективно применяются в нескольких российских литейных цехах и их зарубежные аналоги Antrapur 200RU [1], Карболуксон (Германия), добавка фирмы Huttenes-Albertus (Франция) и добавка Шведской фирмы Swerea SWECAST «NAYVOC*» [2], [3]. Наибольший противоположный эффект обеспечивает добавка БЛЕСКОЛ-П. Применение добавки БЛЕСКОЛ-П приводит к максимальному снижению литейных дефектов и получению литой поверхности с минимальной шероховатостью. Если говорить о физико-механических свойствах смеси при использовании БЛЕСКОЛ-П, то частично снижается газотворность готовой ЕПГС. Однако собственный опыт приготовления суспензии с применением БЛЕСКОЛ-П показывает, что в процессе смешивания добавки с водой происходит пенообразование, что затрудняет дозирование суспензии в смеситель. Кроме образования пены применение БЛЕСКОЛ-П также приводит к тому, что молотый уголь, находящийся в его составе, выпадает в осадок при хранении суспензии.

Технология приготовления порошкообразных композиций представляет собой взаимосвязанные адсорбционные и механохимические процессы. Для получения качественных комплексных добавок со стабильными свойствами особое внимание должно уделяться условиям взаимодействия компонентов. Для производства композиций с соблюдением выше перечисленных условий необходимо использовать смесительные комплексы, обеспечивающие тщательное диспергирование компонентов.

Таким образом, наиболее эффективным для производства комплексных добавок можно считать процесс совместной механоактивации ее компонентов в специальном оборудовании. На практике установлено, что ЕПГС приготовленные на основе механоактивированных бентонитов обладают высокими физико-механическими свойствами.

Дезагрегация (разрушение) частиц происходит по направлениям, совпадающим с плоскостями спайности сложных силикатов и разрывом слабых связей, локализованных в этих областях, что приводит к образованию разорванных связей и увеличению заряда на поверхности вновь образованных мелких частиц. Плоскости спайности являются базальными поверхностями частиц, следовательно, наибольшее количество открытых связей образуется на базальных поверхностях. При отсутствии свободной воды за счет электростатики частиц глинистого связующего и поверхности зерен песка происходит дальнейшее развитие процесса пространственной ориентации частиц. Они стремятся занять более устойчивое положение, то есть ориентируются друг относительно друга по базальным поверхностям.

На микроуровне процесс измельчения частиц глинистого связующего с деформациями

сдвига сопровождается снижением степени их окристаллизованности и образованием в поверхностных слоях аморфной фазы с разорванными силановыми и силоксановыми связями, обладающими высокой реакционной способностью. При сухом перемешивании процесс дезагрегации частиц глинистого связующего не может продолжаться до бесконечности. Накопление определенной плотности гомолитически разорванных связей на поверхности частиц приводит к развитию процесса аутогезии с агрегатированием и рекомбинацией частиц. Иными словами, вновь образованные разорванные связи смежных частиц, достигнув определенной плотности, начинают взаимодействовать между собой, и наступает динамическое равновесие между процессами измельчения и агрегатирования частиц. Образующиеся мелкие частицы формируют рентгеноморфную высокоактивную фазу, которая является главным источником вяжущих свойств не только глинистых минералов, но и любых нанодисперсных активированных материалов.

Основным параметром, определяющим скорость реакции и качество конечного продукта, является величина активной поверхности. Поэтому целью механической обработки является диспергирование материала для получения порошка с максимальной величиной активной поверхности и однородным распределением частиц по размерам, а также осуществить необходимое геометрическое распределение частиц одного компонента относительно частиц другого и достаточный контакт между частицами реагентов.

Резюмируя выше изложенное, следует учесть, что при изготовлении комплексной добавки необходимо учитывать не только совместимость исходных компонентов и размер их частиц, но и возможности протекания механохимических реакций между исходными компонентами в процессах их диспергирования и активации.

В состав разработанного компаунда помимо глинистого связующего входит нанодисперсный пироуглерод (НДПУ) состоящий из: 89...99 % С; 0,3...0,5 % Н; 0,1...10 % О; 0,1...1,1 % S; до 0,5 % минеральных примесей. Средний диаметр частиц НДПУ марки N-330 – 24...32 нм., активная поверхность частиц 75...82 м²/г. Также НДПУ имеет большую термостойкость и при воздействии высоких температур не выделяет в атмосферу вредных веществ, чем выгодно отличается от других углеродосодержащих материалов.

Приготовление компаунда осуществляется в процессе механоактивации бентонита с введением определённого количества НДПУ. В общепринятом понимании явления, связанные с изменением активности и состояния поверхности дисперсного материала в процессе переработки механическим способом, определяются общим понятием - механоактивацией.

Формовочные бентонитовые глины состоят из мелкодисперсных частиц не превышающих 0,02 мм., которые образуют систему, обладающую сильно развитой поверхностью и имеющие свойства коллоидной системы. Частицы бентонита из-за содержащейся в нем природной воды очень прочно скреплены друг с другом и при простом перемешивании бентонита и НДПУ не происходит равномерное распределение пироуглерода вокруг всех частиц бентонита. При нагревании бентонита до определенной температуры удаляется природная вода из межпакетного пространства, то есть частицы бентонита подвергаются измельчению с открытием базальных поверхностей.

При механоактивации бентонита с добавками НДПУ в планетарной мельнице в результате сухого перемешивания происходит дополнительная дезагрегация частиц бентонита и равномерное распределение среди частиц бентонита и одновременном покрытии их поверхности НДПУ. На стадии приготовления компаунда частицы НДПУ равномерно распределяются по поверхности частиц бентонита, формируя плотную термостойкую оболочку.

При добавлении воды в компаунд, она проникает к частицам бентонита, которые разделены между собой частицами НДПУ и происходит дополнительное диспергирование частиц бентонита на более мелкие. Образуется слоистая текстура адгезивной оболочки, т.е. частицы адгезивной оболочки разделены между собой не только молекулами воды, но и частицами НДПУ. Наличие пироуглерода в составе смеси позволяет исключить

агрегатирование частиц бентонита и обеспечить более свободное проникновение молекул воды к базальным поверхностям частиц глинистого связующего и их гидратацию, а также регидратацию глинистого связующего оборотной формовочной смеси, что позволит существенно сократить расход бентонита освежения.

Испытания комплексной добавки на основе бентонита и нанодисперсного пироуглерода показывают улучшение свойств ЕПГС для получения отливок из чугуна.

Содержание в смеси пироуглерода, в пределах 0,5...1 %, позволяет повысить прочность смеси, в случае введения в состав формовочной смеси пироуглерода, начиная с 0,5 %, происходит существенное увеличение прочности. Это увеличение имеет место при содержании пироуглерода до 1 % в смеси, а при содержании в смеси более 1,5 % пироуглерода повышение прочности не наблюдается, так как начинает проявляться экранирующий эффект частиц пироуглерода по отношению к смежным частицам глинистого связующего.

Экспериментально установлено снижение работы по удалению пригара с увеличением содержания НДПУ в составе ЕПГС по сравнению с ЕПГС без добавления НДПУ на 65...85 %. Работа по удалению пригара значительно снижается по сравнению с аналогичными показателями на отливках полученных с использованием ЕПГС без добавления компаунда и компаунда после 150 сек механоактивации на 40...90 % при соотношении обработанного при 300 °С бентонита/НДПУ как 9/1 и по сравнению со смесью без добавления НДПУ на 75...95 %.

В результате производственных испытаний установлено, что дезагрегирующее действие пироуглерода на зерновой состав и адгезивную оболочку проявилось в снижении брака по вине форм. Благодаря тому, что все компоненты адгезивной оболочки присутствуют в компаунде, привело к сокращению времени на смесеприготовление необходимого для достижения технологической готовности ЕПГС. Исключение из состава смеси каменного угля привело к снижению газотворности формовочной смеси, что выразилось в уменьшении газовых дефектов на отливках.

Отливки, полученные с применением формовочной смеси с добавками компаунда, полностью удовлетворяли требованиям по чистоте поверхности и наличию пригара, предъявляемым к ним.

Принципиально важным моментом применения компаунда на основе бентонита и НДПУ является то, что в процессе приготовления формовочной смеси вводится необходимое количество глинистого связующего и углеродосодержащего материала, которые при перемешивании распределяются по поверхности зерновой основы формовочной смеси, то есть на стадии приготовления смеси создаются условия управляемого процесса формирования ее противопригарных, физико-механических и гидравлических свойств.

Производственные испытания единой песчано-глинистой смеси на основе речного песка с механоактивированным компаундом, проведенные на базе литейного цеха ООО «БМК» при получении опытной партии отливок, показали улучшение технологических и физико-механических свойств единой песчано-глинистой смеси, что позволило снизить вероятность образования пригара и сократить расход бентонита при освежении на 25...30 % в расчете на тонну годных отливок. Ожидаемый экономический эффект при использовании единой песчано-глинистой смеси с добавками компаунда при использовании карьерного песка составляет экономию финансовых средств в размере 10...15 % по формовочным материалам на тонну годных отливок.

Список литератур

1. Опыт применения противопригарных добавок при производстве чугунных отливок / И.Н. Маляшов, Д.В. Скарюкин [и др.] // Литейное производство. – 2006. – №8. – С.18-20.
2. Новая углеродосодержащая добавка NAYVOC® для песчано-бентонитовых смесей // Литейное производство. – 2010. – № 9. – С.24-26.
3. Holmgren, M. The green foundry / M. Holmgren, P. Nayström // 68th World foundry congress. – 2008. – P.15-17.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ХУДОЖЕСТВЕННОМ ЛИТЬЕ

Чернусь А.Н. – аспирант, Назаров С.В. – студент,

Марширов И.В. – к.т.н., доцент, Мустафин Г.А. – к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

На предприятиях, имеющих цикл литейного производства, как правило, в большинстве случаев полагаются преимущественно на практический опыт квалифицированных технологов-литейщиков, которые добиваются положительных результатов при отработке сложных технологий методом проб и ошибок. Использование специалистами главным образом эмпирических приемов при решении технологических проблем сопровождается значительными затратами времени и материальных ресурсов.

Для получения бездефектных отливок интуитивно приходится учитывать роль многих факторов в литейных процессах. Это, например, марка сплава и его свойства, геометрия отливки и ее расположение в форме, параметры литниковой системы, температура расплава и скорость заполнения расплавом формы, материал формы и ее предварительный прогрев.

В тоже время бурное развитие компьютерной техники и применение математического моделирования в литейном производстве привело к появлению большого числа прикладных программ, посредством которых в большинстве случаев успешно решаются задачи по быстрой и качественной разработке технологии изготовления весьма сложных отливок. При этом сегодня уже можно уверенно говорить о реальной экономии времени и материальных ресурсов на этапе подготовки производства.

Современное проектирование литейной технологии осуществляется с помощью САД-систем и включает в себя построение трехмерных (3D) геометрических моделей детали, отливки с литниковой системой, а также литейной оснастки и изготовление по ним чертежной документации. Но для отработки литейной технологии на стадии проектирования без дорогостоящих натуральных экспериментов, а также для оптимизирования уже имеющейся технологии – конфигурации литниковой системы, прибылей, температуры и режима заливки и т.д. - необходимо использовать САЕ-системы [1].

Представленная работа состоит из трех основных этапов. Первый этап включает сканирование и обработку полученных данных с физического прототипа изделия, второй – доработку и редактирование геометрической САД-модели, а также конструирование формовочной оснастки для изготовления мастер-моделей. На третьем этапе выполнен инженерный анализ процессов литья оловянистой бронзы в гипсовые формы. Заключительным этапом работы является технологическая подготовка производства и получение опытной партии художественных отливок.

В качестве исходных данных использована бронзовая отливка скульптуры И.И. Ползунова, установленная перед главным корпусом Алтайского государственного технического университета. Скульптура имеет достаточно сложную геометрическую форму, состоящую главным образом из поверхностей двойной кривизны.

Для построения трехмерной компьютерной модели памятника использовали лазерное сканирование.

Лазерные сканеры представляют собой бесконтактные, полностью автоматизированные измерительные устройства. Их применяют для измерения с высокой точностью и с большой скоростью геометрических размеров и конфигурации поверхностей объектов сложной геометрической формы. Скорость сканирования – несколько тысяч измерений в секунду, шаг сканирования зависит от необходимой степени проработки рельефа поверхности. Однако обработка результатов измерений и получение объемных изображений может занять достаточно много времени. Полученный по результатам измерений набор сотен тысяч и миллионов точек называется облаком точек.

С помощью специального программного обеспечения выполняются сложные математические расчеты, которые используются для построения пространственной математической модели поверхностей объекта. Ее преобразуют в твердотельную модель

объекта, трехмерную поверхность, плоский чертеж и т. д. Создание трехмерной модели по огромному массиву точек, а не по дискретным измерениям, значительно повышает ее точность и достоверность.

При выполнении работы был использован промышленный 3D-сканер Topcon GLS-1500 (рис. 1).



Рисунок 1 – Сканер Topcon GLS-1500

Используя портативный компьютер с использованием беспроводного канала Wi-Fi можно управлять сканером дистанционно.

На первом этапе был отсканирован памятник И.И. Ползунова с нескольких позиций. В первоначальном варианте использовалось 5 позиций, но некоторые части имели сложную конфигурацию или имели минимальный угол отражения. Поэтому для отдельных фрагментов памятника было проведено их повторное сканирование с несколько иной позиции и более близкого расстояния, а также с нанесением на отдельные поверхности покрытия для улучшения качества сканов.

Далее на втором этапе была проведена первоначальная компьютерная обработка для объединения отдельных сканов в одно целое трехмерное изображение, а также удаление ненужных сканов – отдаленные объекты, случайно попавшие в область сканирования (например частицы снега, фасады зданий и деревья). На рис. 2 показан интерфейс используемой программы для обработки сканов – Rapidform, с уже обработанными облаками точек.

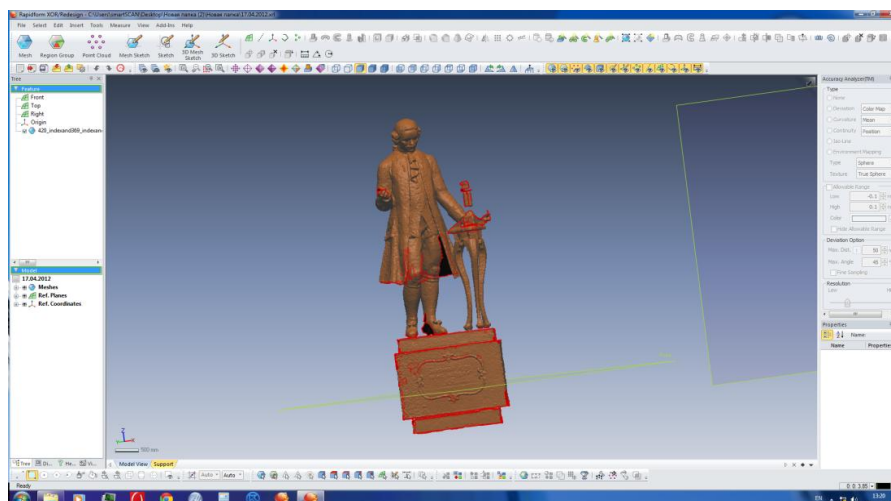


Рисунок 2 – Среда программы Rapidform

На следующем этапе при помощи 3D-принтера Zprinter 650 была получена уменьшенная копия памятника (рис. 3) из композиционного материала.



Рисунок 3 – Уменьшенная копия памятника

Четвертый этап включает в себя расчет и построение литниковой системы, «склеивание» модели и анализ процессов заполнения и затвердевания отливки с использованием системы компьютерного моделирования LVMFlow.

Далее было произведено изготовление эластичной пресс-формы. При этом для большей технологичности модель предварительно была разделена на 3 части: постамент, столешница с паровой машиной и сам памятник.

В качестве материала формы для последующего изготовления восковых моделей была использована 2-х компонентная жидкая безусадочная резина CASTALDO LiguaCast.

Изготовление восковой модели осуществляли с применением инжектора. При этом в рабочем режиме температура модельной массы в инжекторе составляла 65°C. Запрессовка модельной массы в эластичные пресс-формы производилась при определенном давлении. Затем осуществлялась сборка восковых моделей из отдельных элементов путем пайки (рис. 4)



Рисунок 4 – Готовая восковая модель и модель-прототип

Далее полученные модели спаивались в один блок вместе с моделями стояка и литниковой чашей и размещались в специальную опоку, в которой они заформовывались специальной гипсовой формомассой SatinCast 20. После выдержки в течение 24 часов модели, вместе с элементами литниковой системы, вытапливались из опоки, а полученная

гипсовая форма подвергалась прокатке в электропечи сопротивления по следующему температурному режиму:

- нагрев до температуры 150°С с выдержкой в печи 2 часа;
- дальнейший нагрев до 370 °С, выдержка 2 часа;
- нагрев до 480 °С, выдержка 2 часа;
- нагрев до 730 °С, выдержка 2 часа;
- охлаждение с печью.



Рисунок 5 – Отливка из бронзы после финишной обработки

После прокатки опока устанавливалась в вакуумную установку и производилась заливка расплавом бронзы БрО5Ц5С5 ГОСТ 613-79. Выплавку металла осуществляли в индукционной тигельной печи ППИ 110.

Общий вид полученной бронзовой отливки после проведения финишных операций представлен на рис. 5.

Список литературы

1. А.В. Монастырский О современных методах разработки и оптимизации технологических процессов в литейном производстве / Литейное производство. – 2010. – №5. – с.19-22

ИЗМЕНЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ФОРМОВОЧНЫХ ПЕСКОВ В ПРОЦЕССЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ

Шнейдер А.А. – аспирант, Иванов П.Д. – студент; Григор А.С. – к.т.н., ст. преподаватель,
Марков В.А. – д.т.н., профессор

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Кварцевый песок – основной компонент песчано-глинистых смесей (ПГС), является сложным и одновременно уникальным природным материалом, находящим применение во многих отраслях промышленности.

В ряде работ последних лет специалисты-литейщики стали обращать внимание на состояние поверхности зерен песка не только с позиции формы (округлые или угловатые), но и с позиции состояния поверхностного слоя кварцевого зерна. В результате многократного использования смеси и происходящих процессов при формировании свойств ПГС, а также добавляя антипригарные добавки, такие как углеродосодержащие материалы, на

поверхности зерна формируется термостойкая текстурированная адгезивная оболочка из частиц глинистого связующего, остатков углеродосодержащих материалов, осколков зерен. Это обусловлено не только основными технологическими параметрами процесса смесеприготовления, но и смесеприготовительным оборудованием, то есть его способностью возвращать зерновой состав смеси к размерам зерна песка освежения. Адгезивная оболочка, препятствует непосредственному контакту расплавленного металла с зерном кварца. Таким образом, в физико-химическое взаимодействие с жидким расплавом вступает не зерно песка, а именно адгезивная оболочка на его поверхности. Отсюда появилась рабочая гипотеза о замене традиционных кварцевых песков на более дешевый строительный речной песок, добываемый из поймы реки Обь в Алтайском крае [1]. Некоторые трудности использования речного песка в литейном производстве вызывает наличие в его составе гидрослюдистых минералов имеющую низкую температуру плавления (700...800 °С), что может привести к образованию пригара на поверхности отливки. Решить эту проблему можно введением в состав ЕПГС углеродосодержащих материалов, имеющий высокую температуру термодеструкции.

Исследование процесса воздействия рабочих органов бескаткового центробежного смесителя с карьерным песком показало, что в процессе механоактивации одновременно развиваются два процесса: дезагрегация новообразованных зерен и агрегатирование мелких частиц [2]. Это можно объяснить тем, что в процессе сухого перемешивания формовочного песка в центробежном бескатковом смесителе происходит непосредственный более тесный контакт рабочих органов с зёрнами смеси. Установлено, что механоактивирующее действие бескаткового центробежного смесителя значительно эффективнее, чем аналогичное действие каткового и барабанного смесителя. Сравнение производилось кондуктометрическим методом [3]. Определяли активность суспензии карьерного и речного песка, что подтвердило эффективность процессов механоактивации и дезагрегации. Прежде всего, рост активности обусловлен оттиркой с поверхности зерен песка адгезивной оболочки.

Эксперимент заключается в следующем: навеску карьерного и речного песка массой отобранной согласно опыту (5 гр.) помещают в емкость, залитой дистиллированной водой, при удельной концентрации формовочного песка в суспензии 0.017 гр/мл. Затем в емкость с суспензией помещают миксер с электродами. Гидратация продолжается в течение 10 минут с фиксацией показаний через 1 минуту.

На рисунке 1 представлены результаты исследования активности карьерного и речного песка после сухой механоактивации в катковом, барабанном и бескатковом центробежном смесителях с варьируемым временем механоактивации.

Наибольшей активностью обладает карьерный песок после 9 минут механоактивации, однако в бескатковом центробежном смесителе она выше, чем в катковом на 18...20 % и выше чем барабанном смесителе на 10...12%. При речном песке эти показатели составляют 18...21% и 8...10% соответственно. Такой рост был обусловлен активацией поверхностного слоя зерен песка, то есть активных химических связей.

По результатам исследования можно сделать вывод, что речной песок не отстает по полученным данным от карьерного песка, что позволяет применять речной песок в литейном производстве, что существенно снизит расходы на сырье в процессе производств отливок.

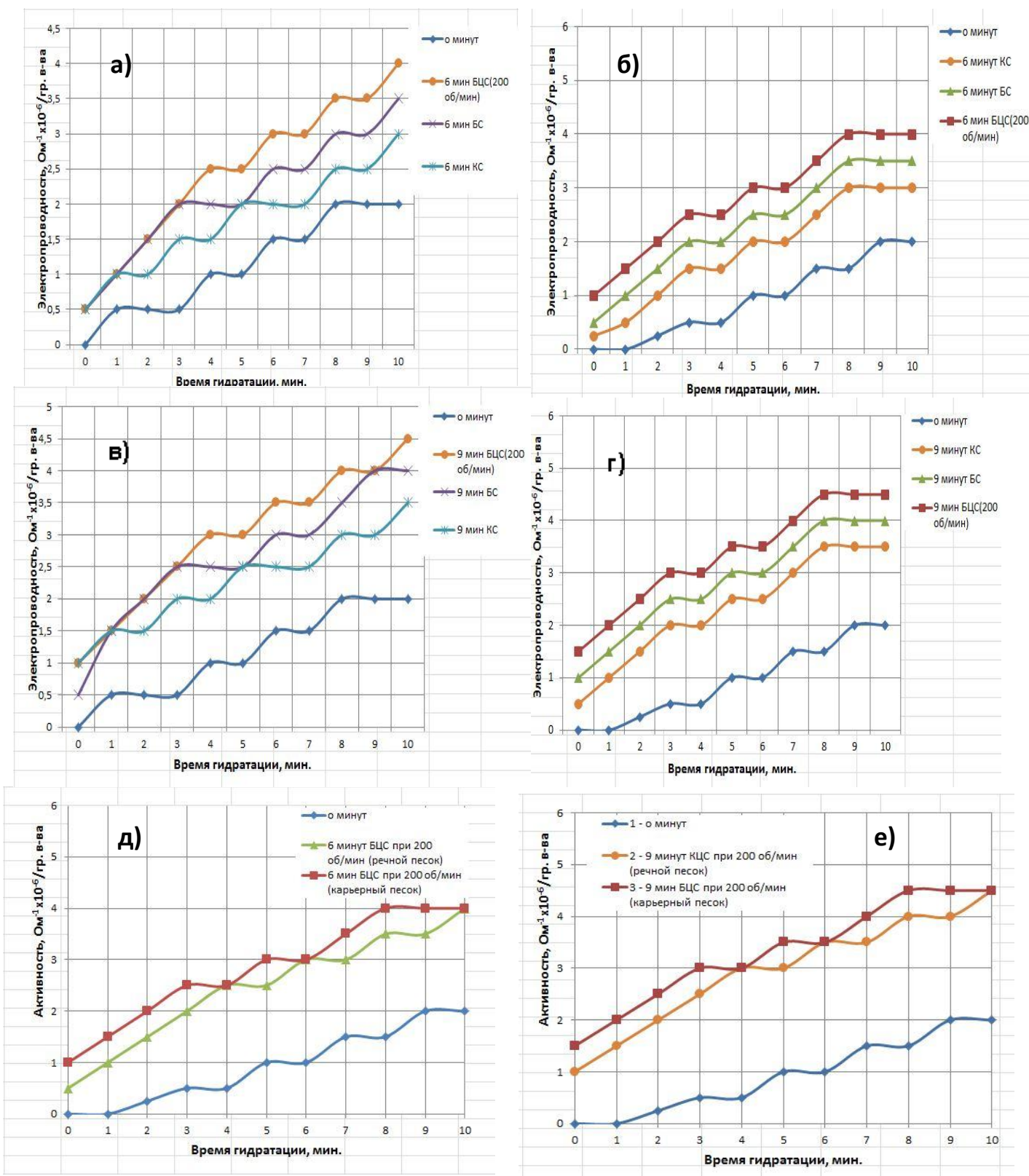


Рисунок 1 – Влияние времени механоактивации и времени гидратации на активность суспензии формовочной смеси в зависимости от времени механоактивации в катковом (КС), барабанном (БС) и центробежном бескатковом смесителях: а) – после 6 минут рабочего процесса (речной песок), б) – после 6 минут (карьерный песок), в) – после 9 минут (речной песок) и г) – после 9 минут (карьерный песок); д) – сравнение после 6 минут перемешивания речного и карьерного песка; е) – сравнение после 9 минут перемешивания речного и карьерного песка.

В заключение следует отметить, что рабочие органы бескаткового центробежного смесителя оказывают более высокое дезагрегирующее и механоактивирующее воздействие

на компоненты смеси, чем лабораторные бегуны.

Список литературы

1. Григор, А.С. Применение в составе формовочных смесей речного песка с добавками механоактивированного компаунда / А.С. Григор, В.А. Марков // Теория и практика литейных процессов. Труды Всероссийской научно-практической конференции 13 – 15 июня 2012 г. Новокузнецк 2012. – С. 132-136.
2. Марков, В.А. Анализ развития процессов дезагрегации и механоактивации оборотной смеси / В.А. Марков, А.С. Григор // Литейное производство. – 2010. – №4. – С.21-24.
3. Марков, В.А. Кондуктометрический метод определения активности бентонита после термической обработки / В.А. Марков, А.С. Григор, А.Ю. Луганский // Проблемы и перспективы развития литейного, сварочного и кузнечно-штамповочного производств: Сб. науч. тр. – Вып. 5. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2009. – С.53-55.

ВЛИЯНИЕ ТИПА СМЕСИТЕЛЯ НА ДЕЗАГРЕГАЦИЮ И МЕХАНОАКТИВАЦИЮ ОБОРОТНОЙ СМЕСИ

Шнейдер А.А. – аспирант, Иванов П.Д. – студент; Григор А.С. – к.т.н., ст. преподаватель,
Марков В.А. – д.т.н., профессор
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В процессе оборота песчано-глинистой смеси (ПГС) происходит структурирование ее зернового состава. Причем количественный рост размера зерна определяется не только основными технологическим параметрами процесса, такими как соотношение смесь / металл; температура заливки; степень уплотнения смеси; рецептура смеси; количество и масса стержней в отливках, но и системой смесеприготовления, то есть ее способностью стабилизировать рост зерна или способностью возвращать зерновой состав ПГС к размерам зерна песка освежения.

В этой связи можно ввести понятие критерия качества смесеприготовления, как способность системы обеспечивать дезагрегацию зерновой основы оборотной смеси до уровня песка освежения. Качественным смесеприготовлением можно считать в том случае, когда система смесеприготовления обеспечивает дезагрегацию (измельчение) зернового состава и не допускает рост фракции 063. Таким образом, зерновой состав оборотной смеси является показателем качества формовочной смеси и, соответственно, качества поверхности отливок.

На основе результатов исследований отдельных фракций и общего зернового состава смеси, можно выделить в единой ПГС несколько типов зерен, полученных в результате многократных оборотов в производственном цикле, такие как монозерно, блочное зерно, агрегированное зерно и конгломерат зерен [1], [2]. Результаты исследования процесса дезагрегации компонентов оборотной смеси позволили установить, что в результате деформаций сдвига происходит частичная оттирка адгезивной оболочки и вскрытие поверхности зерна кварцевого песка. Большой эффект снятия адгезивной оболочки в процессе дезагрегации наблюдается у крупных фракций и в меньшей степени у мелких фракций. Данный результат согласуется с выводами о том, что при деформациях сдвига наибольшая нагрузка воспринимается крупными фракциями (скелет смеси), а после их дезагрегации распространяется на более мелкие. Причем снятые с поверхности зерен частицы адгезивной оболочки переходят в мелкую фракцию.

В качестве объекта исследования была выбрана ОС после заливки чугуна СЧ-20, в которой преобладающей является фракция 04 составляющая 36,8 % от всей массы смеси. Также после ситового анализа содержание фракций 1,6 и 2,5 составило 0,4 и 0,05 % соответственно. Хотя в песке освежения преобладает фракция 02. Исследуемая ОС подвергалась дезагрегации в лабораторном бескатковом смесителе с варьированием времени

перемешивания. Для качественной оценки эффективности процесса дезагрегации параллельно проводилось сухое перемешивание ОС в лабораторном катковом и барабанном смесителях и через определенные интервалы времени отбирались пробы для ситового анализа.

Исследование процесса воздействия рабочих органов бескаткового центробежного смесителя (рисунок 1) показало, что в процессе механоактивации одновременно развиваются два процесса: измельчение (дезагрегация) частиц и агрегатирование с образованием новых частиц. Это можно объяснить тем, что в процессе перемешивания карьерного песка в бескатковом центробежном смесителе происходит непосредственный более тесный контакт рабочих органов с зёрнами песка. Тем самым, позволяя частицам связующего равномерно распределиться на поверхности зерна.

Исследования режимных параметров лабораторного бескаткового центробежного смесителя позволили установить, что для рабочих органов типа «стержни-катки» стабильным режимом их работы будет скорость вращения корпуса $n = 200$ об/мин., которая была взята за основу для проведения экспериментов.

Количественное изменение зернового состава ОС наступает уже после 30 секунд времени дезагрегации. Преобладающей фракцией при 1,5 минуты перемешивания в бескатковом центробежном смесителе становится фракция 02 с содержанием 32,4% от массы. Количественное изменение зернового состава ОС после 1,5 минуты перемешивания в бескатковом центробежном смесителе соответствуют 9 минут перемешивания в катковом и барабанном смесителе, 27,8% и 30,4% соответственно. Под действием рабочих органов смесителей происходит измельчение крупных зёрен ОС, в том числе и конгломерата зёрен и за счёт этого прирост мелких фракций, а также ОС достигает уровня песка освежения. Дальнейшее дезагрегирование в бескатковом центробежном смесителе так же является более преимущественным перед аналогичным процессом в катковом и барабанном смесителе и имеет положительные результаты.

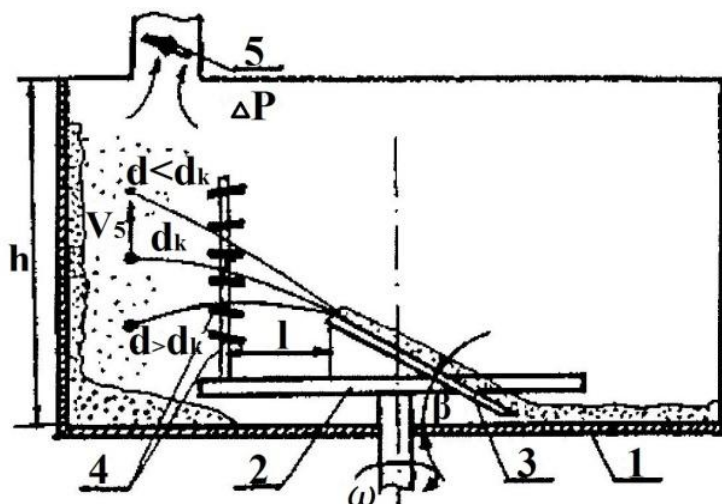


Рисунок 1 – Принципиальная схема смесителя для селективного перемешивания компонентов ЕПГС: 1 – борт чаши, 2 – ротор, 3 – плужок, 4 – раскатки, 5 – заслонка вытяжной вентиляции

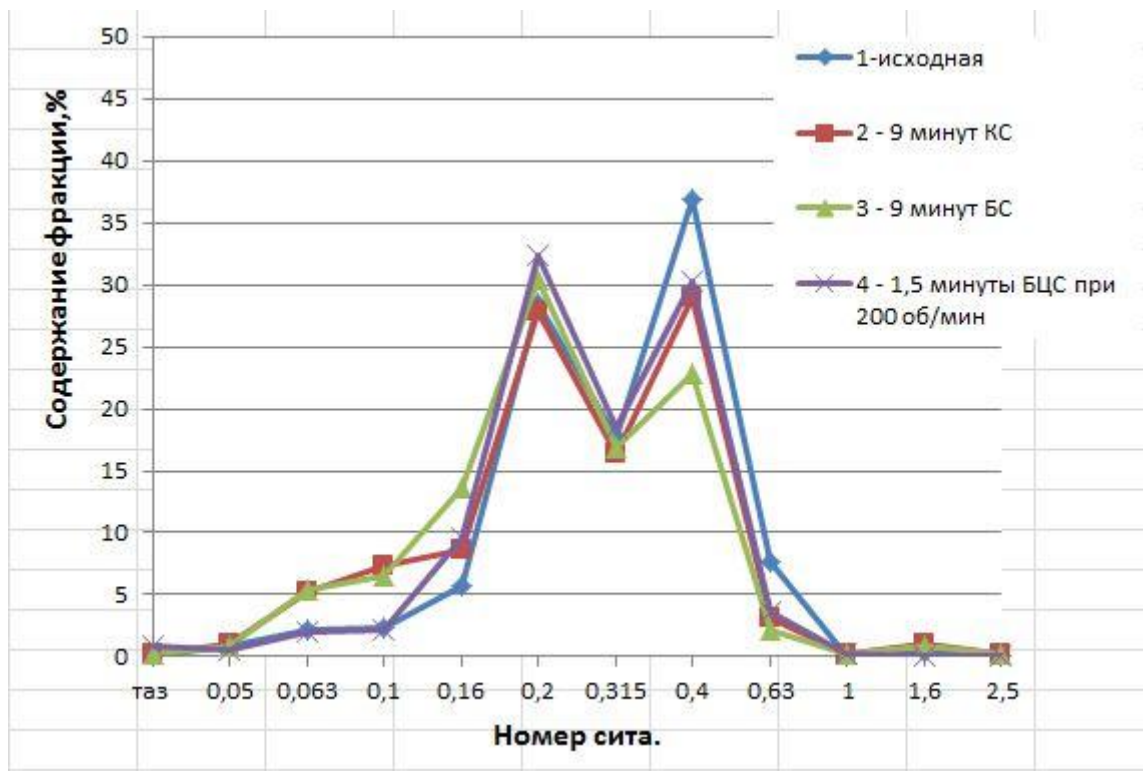


Рисунок 2. – Зерновой состав оборотной смеси: 1 – исходная, 2 – после 9 минут перемешивания в катковом смесителе, 3 – после 9 минут перемешивания в барабанном смесителе; 4 – после 1,5 минуты перемешивания в бескатковом центробежном смесителе.

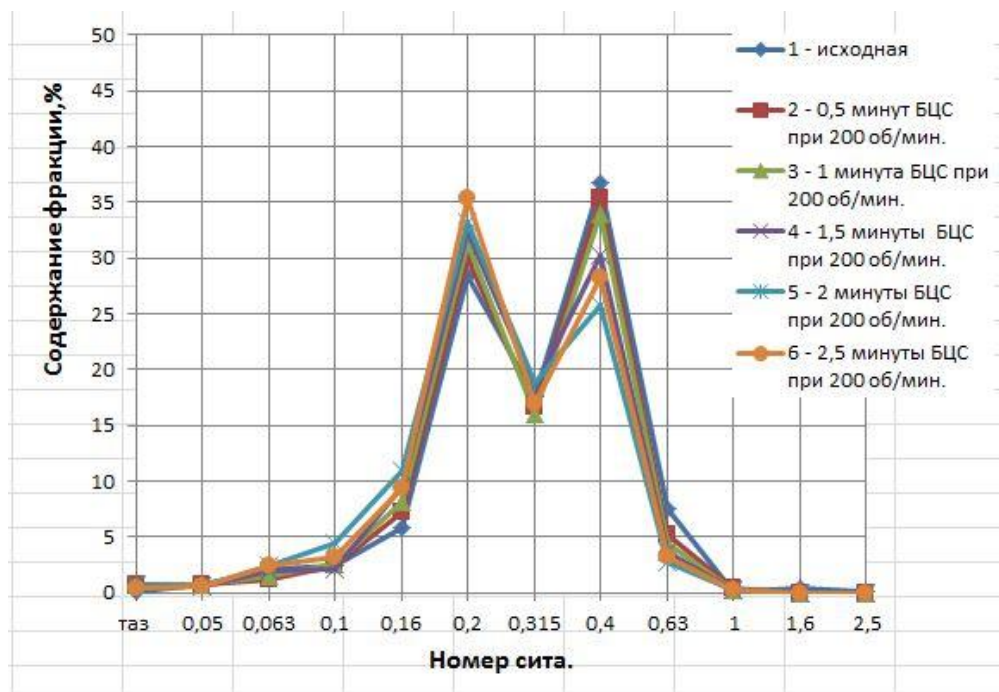


Рисунок 3. – Зерновой состав оборотной смеси после дезагрегации в бескатковом центробежном смесителе: 1 – исходная смесь; 2 – 0,5 минут дезагрегации; 3 – 1 минута дезагрегации; 4 – 1,5 минуты дезагрегации; 5 – 2 минуты дезагрегации; 6 – 2,5 минуты дезагрегации.

В заключение следует отметить, что подготовка единой песчано-глинистой смеси в центробежном бескатковом смесителе требует меньше электроэнергии и затрат времени на

перемешивание, а так же позволяет снизить расход свежих связующих материалов.

Список литературы

1. Концепция механизма формирования свойств единых песчано-глинистых смесей в процессе перемешивания / В.А. Марков, К.Е. Нефедов, М.В. Пешков, А.А. Апполонов // Литейное производство. – 2004. – №1. -С.15-17.

2. Марков, В.А. Анализ развития процессов дезагрегации и механоактивации оборотной смеси [Текст] / В.А. Марков, А.С. Григор // Литейное производство. – 2010. – №4. – С.21-24.

БЕЗОТХОДНЫЙ СПОСОБ РАЗДЕЛЕНИЯ ПРУТКА НА МЕРНЫЕ ЗАГОТОВКИ

Чухахин Д.М. – студент, Резниченко С.В. – студент,

Поксеваткин М.И. – к.т.н., профессор

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Обычно используют способ деления прутка на длинномерные заготовки, посредством подачи прутка до совмещения плоскости деления с плоскостью внедрения клинового инструмента, выполненного в виде ролика с V-образной рабочей кромкой. Затем сообщают клиновому инструменту вращательное движение и прилагают к нему усилие для формирования V-образной канавки в плоскости деления прутка. После формирования канавки на заданную глубину к консольному концу мерной заготовки прикладывают усилие и отделяют ее от прутка разрушением металла по плоскости надреза. Полученные этим способом длинномерные заготовки имеют торцевые фаски, что повышает их качество.

Однако описанный способ деления прутка на длинномерные заготовки делает пониженное качество мерных заготовок, обусловленное большой шероховатостью ее торцевых поверхностей, так как отделение мерной заготовки осуществляют путем ее отрыва от прутка с разрушением металла по плоскости надреза. [1]

С целью повышения качества мерных заготовок приложение нажимного усилия к консольному концу длинномерной заготовки осуществляют одновременно с приложением деформирующего усилия к клиновому инструменту. При этом, нажимное усилие к консольному концу длинномерной заготовки и деформирующее усилие к клиновому инструменту прикладывают односторонне относительно оси прутка в общей продольной радиальной плоскости, имеющей возможность вращательного движения вокруг продольной оси прутка, а величины периодически чередующихся напряжений растяжения и сжатия в плоскости деления прутка устанавливают в диапазоне от величины предела упругости металла на момент внедрения клинового инструмента до величины не менее значения предела текучести металла на сдвиг к моменту отделения мерной заготовки от прутка. [2]

Одновременным односторонним приложением нажимного и деформирующего усилий, с размещением их в общей продольной радиальной плоскости, создают круговой знакопеременный изгибающий момент, а величины периодически чередующихся напряжений растяжения и сжатия, в плоскости деления прутка, устанавливают в диапазоне изменения от величины предела упругости металла на момент внедрения клинового инструмента до величины не менее значения предела текучести металла на сдвиг к моменту отделения мерной заготовки от прутка, чем вызывают внутризеренную сдвиговую деформацию с образованием поверхности усталостного разрушения металла в этой плоскости к моменту отделения мерной заготовки от прутка. В результате получают мерные заготовки с гладкими торцевыми поверхностями и торцевыми фасками, что обеспечивает высокое качество длинномерных заготовок.

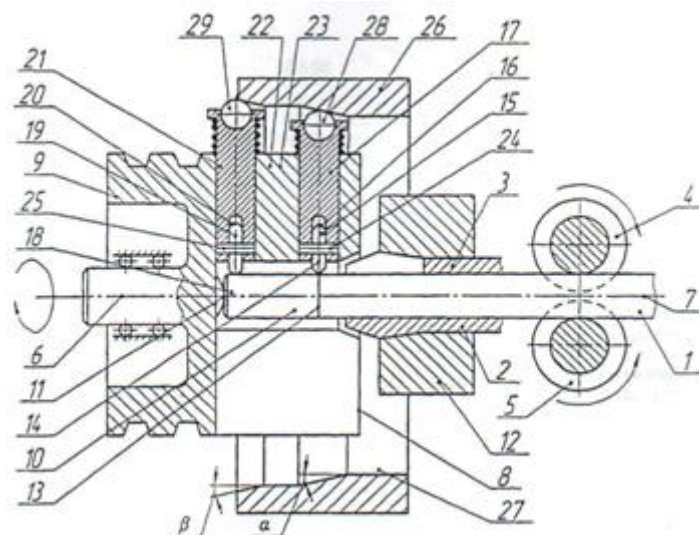


Рисунок 1 – Исходное положение штампа в момент формирования V-образной канавки.

Способ разделения прутка на длинномерные заготовки реализуют следующим образом. (рис. 1) Пруток 1 через направляющую втулку, например разрезную цангу 2 цангового патрона 3, роликами 4 и 5 подают во вращающийся вокруг оси 6, совпадающей с продольной осью 7 прутка 1, ротор 8, жестко связанный с приводным элементом 9, на длину мерной заготовки 10 до пружинного упора 11, и зажимают, например, в цанговом патроне 3 путем перемещения втулки 12 по разрезной цанге 2. При этом плоскость 13 разделения прутка 1 совмещают с плоскостью 14 внедрения клинового инструмента, выполненного в виде ролика 15 с V-образной рабочей кромкой 16, установленного в державке 17, а консольный конец 18 мерной заготовки 10 располагают напротив нажимного ролика 19 с округленной рабочей поверхностью 20, установленного в державке 21. Державки 17 и 21 размещают в стенке 22 ротора 8 односторонне относительно оси 6 вращения ротора 8 с возможностью радиального их перемещения в плоскости 23, включающей продольные оси 24 и 25 соответственно роликов 15 и 19 и продольную ось 7 прутка 1 (рис.1).

Затем перемещают нажимную обойму 26 с рабочей поверхностью 27, выполненной со скосами α и β , воздействующими на установленные в державки 17 и 21 нажимные шарики 28 и 29, центры которых размещают в плоскости 23 (фиг.1), создавая посредством радиального перемещения державок 17 и 21 деформирующее и нажимное усилия соответственно на роликах 15 и 19.

С момента одностороннего приложения деформирующего и нажимного усилий, размещенных в одной радиальной плоскости 23, имеющей возможность вращательного движения вокруг продольной оси 7 прутка 1, в плоскости 13 разделения прутка 1 посредством ролика 15 формируют V-образную канавку 30, а нажимным роликом 19 путем отклонения консольного конца 18 мерной заготовки 10 в этой плоскости создают круговой знакопеременный изгибающий момент, с периодически чередующимися напряжениями растяжения и сжатия вызывают внутризеренную сдвиговую деформацию в плоскости 13 разделения прутка 1, что обуславливает образование гладких торцевых поверхностей мерной заготовки 10, перпендикулярных ее продольной оси 31 (фиг.2), при этом величину напряжений устанавливают в диапазоне изменения от величины предела упругости металла в момент начала внедрения ролика 15 в плоскость 13 разделения прутка 1 до величины не менее предела прочности металла на сдвиг к моменту его разрушения в плоскости 13 разделения и отделения мерной заготовки 10 от прутка 1. Отделенная от прутка 1 длинномерная заготовка 10 удаляется из ротора 8 через окно 32, выполненное в его стенке 22 (рис.2).

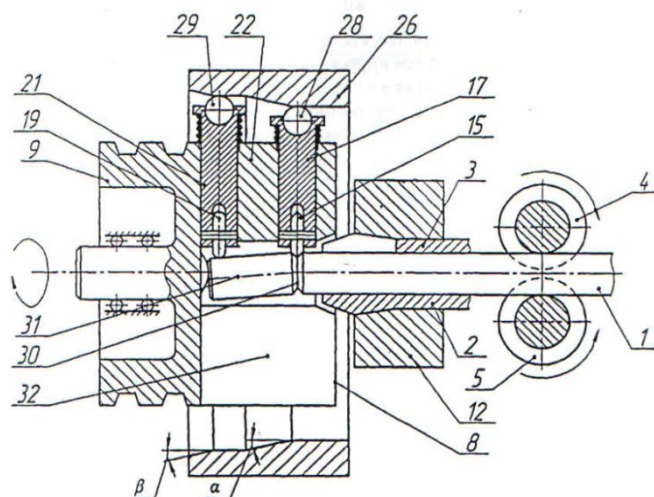


Рисунок 2 – Положение штампа в момент отделения мерной заготовки от прутка

Полученные длинномерные заготовки имели торцевые фаски и гладкие торцевые поверхности, перпендикулярные продольной оси. Таким образом, реализация предложенного способа позволяет существенно повысить качество длинномерных заготовок, получаемых из прутка.

Список литературы

- 1 Ковка и штамповка. Справочник в 4-х т. Т.1. Под ред. Е.И. Семенова. М.: Машиностроение. 1985. – С.13, табл.7.
- 2 Патент РФ №2508187. Способ разделения прутка на длинномерные заготовки./Поксеваткин М.И., Дунаев К.Ю., Поксеваткин Д.М.. Оpubл: 2014. Бюл. №6
- 3 Напряжения, деформации, разрушение. Колмогоров В.Л. Изд-во «Металлургия», 1970, с.59, рис.30

АНАЛИЗ СПЕКТРА ЧАСТОТ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ГЛАВНОГО ПРИВОДА КРИВОШИПНОГО ПРЕССА

Бураков Е.А. – студент, Собачкин В.В. – к.т.н., профессор

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Кривошипный пресс является машиной периодического действия, подверженной значительным динамическим нагрузкам. Особенностью его работы является неравномерность потребления энергии за цикл с большими пиковыми нагрузками. За полный оборот главного вала пресса деформирование металла осуществляется на $20^{\circ} \dots 50^{\circ}$ (в зависимости от типа технологической операции). Это приводит к необходимости анализа спектра частот собственных колебаний, т.к. в условиях действия высокочастотной возмущающей силы совпадение частоты собственных колебаний машины с частотой возмущающей (внешней) силы вызывает интенсивные, так называемые резонансные колебания, и как следствие поломку машины.

Привод пресса, как и любой другой машины, представляет собой упругую систему, колеблющуюся под действием внешних сил. В результате этого характер динамического и статического нагружения пресса не совпадает.

Анализ фактических нагрузок в элементах силовой системы пресса, как и в других механических системах, проводят на базе так называемых динамических моделей, представляющих собой идеализированное подобие системы, как вы «скелет» машины. Переход от реальной системы к соответствующей ей динамической модели является важным этапом, предшествующем изучению динамических процессов, протекающих в системе.

При исследовании динамики механической системы ее трансмиссию представляют виде некоторой механической модели, состоящей из отдельных сосредоточенных масс, соединенных невесомыми упругими связями с постоянными коэффициентами жесткости. Местными напряжениями и деформациями в местах сочленений отдельных звеньев машины обычно пренебрегают. Пренебрегают и волновыми процессами в упругих связях.

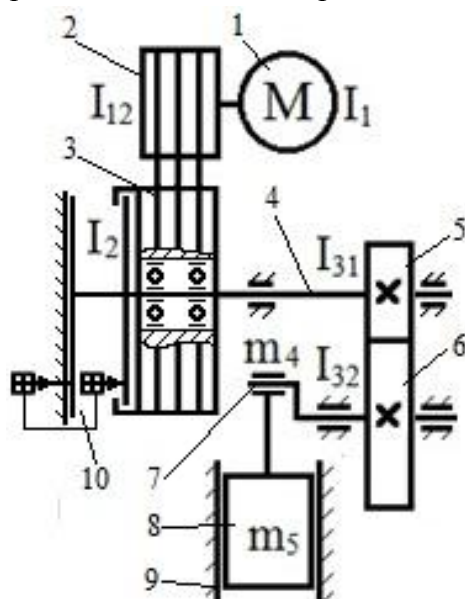


Рисунок 1 – Кинематическая схема кривошипного пресса

- 1- электродвигатель, 2- шкив ременной передачи, 3- маховик, 4- приемный вал, 5- шестерня, 6- зубчатое колесо, 7- кривошип, 8 – ползун, 9- направляющие, 10- муфта-тормоз

Сосредоточенными массами принято считать такие, размеры которых вдоль оси вращения не превышает 1,5...2 их диаметра. В противном случае массу искусственно разделяют на несколько сосредоточенных масс.

Методика определения коэффициентов жесткости в значительной мере зависит от разбивки механической системы машины на дискретные массы, соединенные упругими связями.

На рисунке 1 приведена кинематическая схема привода кривошипного пресса типа КИ2130. На схеме обозначено: I_1 , I_{12} , I_2 , I_{31} , I_{32} – моменты инерции соответственно электродвигателя, ведущего шкива ременной передачи, маховика, шестерни и колеса зубчатой передачи, m_4 , m_5 - массы кривошипа и ползуна.

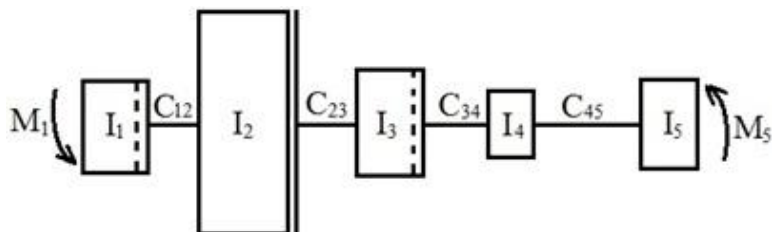


Рисунок 2- Приведенная динамическая модель

Как видно из схемы, отдельные элементы машины двигаются с различными скоростями. Это ведет к определенным неудобствам в расчетах, поэтому в практических работах реальную схему привода пресса приводят к виду, представленному на рисунке 2 (цепная линейная модель). Достигается это пересчетом моментов инерции масс, податливостей (или жесткостей) связей, моментов сопротивления и движущего момента к какому-либо одному из элементов. В данном случае наиболее рационально перерасчет производить к валу маховика.

Кинематическая схема пресса (см. рисунок 1) содержит как вращающиеся, так и поступательно движущиеся массы. Первым этапом составления динамической модели является приведение поступательно движущихся масс к вращающимся. Приведение масс основано на том, что величина суммарного запаса их кинетической энергии остается неизменной.

$$(m_5 v_5^2)/2 = (I_5 \omega_5^2)/2,$$

$$I_5 = m_5 (v_5 / \omega_5)^2 = m_{\text{п}} R^2,$$

где $\omega_5 = \omega_4$ – угловая скорость кривошипа.

Второй этап расчета заключается в приведении моментов инерции масс системы к валу маховика. Приведение масс основано также на сохранении величины суммарного запаса кинетической энергии движущихся частей привода, отнесенной к данному валу.

$$I_1 \omega_1^2 / 2 = I_{1(2)} \omega_2^2 / 2,$$

$$I_{1(2)} = I_1 (\omega_1 / \omega_2)^2 = I_1 u_{12}^2,$$

где: $I_{1(2)}$ – момент инерции массы электродвигателя, приведенный к валу маховика; ω_1 – угловая скорость двигателя; ω_2 – угловая скорость маховика; u_{12} – передаточное число от вала электродвигателя до вала маховика (ременной передачи).

Для момента инерции массы шкива электродвигателя аналогично:

$$I_{12(2)} = I_{12} (\omega_1 / \omega_2)^2 = I_{12} u_{12}^2.$$

Моменты инерции массы маховика и шестерни зубчатой передачи не пересчитываются, т.к. находятся на валу, к которому осуществляется приведение.

Момент инерции массы колеса зубчатой передачи, приведенный к валу маховика, определяется из соотношения:

$$I_{32(2)} = I_{32} (\omega_3 / \omega_2)^2 = I_{32} u_{32}^2,$$

где u_{32} – передаточное число зубчатой передачи.

Момент инерции массы кривошипа, приведенный к валу маховика

$$I_{4(2)} = I_4 (\omega_4 / \omega_2)^2 = m_{\text{вр}} R^2 u_{42}^2,$$

где: $u_{42} = u_{32}$ – передаточное отношение от вала кривошипа до вала маховика, $m_{\text{вр}}$ – масса вращающихся частей КПП.

Момент инерции массы ползуна, приведенный к вращательному движению, относительно вала маховика

$$I_{5(2)} = I_5 (\omega_5 / \omega_2)^2 = m_{\text{п}} R^2 u_{42}^2,$$

где $m_{\text{п}}$ масса поступательно движущихся частей КПП.

Массы привода кривошипного пресса соединены упругими связями.

Третьим этапом составления динамической модели является приведение жесткостей упругих связей к валу маховика. Начитать необходимо с замены линейной жесткости шатуна на крутильную жесткость (поступательно движущиеся массы ранее уже приведены к вращающимся).

Приведение жесткостей упругих связей основано на принципе равенства потенциальных энергий реальной и приведенной моделей:

$$C_{\text{шп}} X_{\text{ш}}^2 / 2 = C_{\text{швр}} \varphi_{\text{ш}}^2 / 2,$$

$$C_{\text{швр}} = C_{\text{шп}} (X_{\text{ш}} / \varphi_{\text{ш}})^2 = C_{\text{шп}} R^2,$$

где: $C_{\text{шп}}$ – линейная жесткость шатуна; $C_{\text{швр}}$ – крутильная жесткость шатуна; $X_{\text{ш}}$ – линейная деформация шатуна; $\varphi_{\text{ш}}$ – крутильная деформация шатуна; R – радиус кривошипа КПП.

Значение крутильной жесткости ременной передачи $C_{\text{рп}}$ получена исходя из того же принципа:

$$C_{\text{рп}} = 2EFr^2/l,$$

где: r – радиус маховика; E – модуль упругости материала ремня передачи; F – суммарное поперечное сечение ремней передачи; l – длина ветви ремня (межосевое расстояние ременной передачи).

Т.к. приведение осуществляется к валу маховика, то $C_{\text{рп}} = C_{12}$ расчетной динамической модели.

Жесткость вала кривошипа (главного вала), приведенная к валу маховика, определяется аналогичным образом из условия сохранения потенциальной энергии исходной и приведенной систем:

$$C_{34}(\varphi_3 - \varphi_4)^2/2 = C_{34(2)}(\varphi_{3(2)} - \varphi_{4(2)})^2/2,$$

$$C_{34(2)} = (\varphi_3 - \varphi_4)^2/(\varphi_{3(2)} - \varphi_{4(2)})^2 = C_{34} u_{32}^2,$$

где: C_{34} – жесткость вала кривошипа (главного вала); $C_{34(2)}$ – приведенная жесткость вала кривошипа (главного вала); u_{32} – передаточное число от вала кривошипа до вала маховика (передаточное число зубчатой передачи).

Крутильная жесткость шатуна, приведенная к валу маховика (полученная исходя из тех же принципов):

$$C_{45} = C_{швр} u_{32}^2 = C_{шп} R^2 u_{32}^2.$$

Заключительным этапом составления динамической модели является приведение моментов внешних сил (движущей и сопротивления) к валу маховика. Приведение моментов производится на основании энергетического баланса системы. Потери мощности в промежуточных передачах не учитываются. В результате уравнение баланса мощности выглядит следующим образом:

$$M_1 \omega_1 = M_{1(2)} \omega_2,$$

$$M_{1(2)} = M_1 \omega_1 / \omega_2 = M_1 u_{12}.$$

Момент сопротивления, возникающий при штамповке, определяется по формуле:

$$M_5 = P_d R,$$

где P_d – усилие деформирования.

Момент сопротивления, приведенный к валу маховика:

$$M_{5(2)} = M_5 \omega_5 / \omega_2 = M_5 u_{32},$$

где $u_{32} = u_{42}$ – передаточное число зубчатой передачи.

Для определения спектра свободных (собственных) колебаний воспользовались методом Толе-Крылова. Метод основан на том, что при собственных колебаниях сумма моментов сил упругости и сил инерции колеблющихся масс системы равна нулю. Решение задачи состоит в выборе частот, обеспечивающих вышеуказанное условие.

Выделим из системы, состоящей из n масс (рисунок 3), i -ую массу и запишем для нее уравнение равновесия.

$$M_{i-1,i} - M_{i,i+1} + I_i \ddot{\varphi}_i = 0, \tag{1}$$

где: $M_{i-1,i} = C_{i-1,i}(\varphi_i - \varphi_{i-1})$ – момент упругих сил, действующих на сосредоточенную массу слева; $M_{i,i+1} = C_{i,i+1}(\varphi_{i+1} - \varphi_i)$ – момент упругих сил, действующих на сосредоточенную массу справа; $C_{i-1,i}$, $C_{i,i+1}$ – жесткости упругих связей; φ_{i-1} , φ_i , φ_{i+1} – углы закручивания масс системы; I_i – момент инерции i -ой сосредоточенной массы.

Пусть решением для φ_i будет:

$$\varphi_i = A_i \cos(\beta t + \varphi),$$

$$\ddot{\varphi}_i = -\beta^2 \varphi_i.$$

Тогда уравнение (1) можно привести к виду:

$$C_{i-1,i} A_{i-1} + C_{i,i+1} A_{i+1} - A_i (C_{i-1,i} + C_{i,i+1} + \beta^2 I_i) = 0. \tag{2}$$

Обозначим отношение амплитуд A_i к амплитуде A_1 первой массы через

$$\alpha_1 = A_1/A_1 = 1; \alpha_2 = A_2/A_1; \alpha_3 = A_3/A_1; \dots \alpha_n = A_n/A_1.$$

Для уравнения (2) можно записать:

для первой массы

$$C_{01}(A_1 - A_0) - C_{12}(A_2 - A_1) - \beta^2 I_1 A_1 = 0.$$

$$C_{01}(\alpha_1 - \alpha_0) - C_{12}(\alpha_2 - \alpha_1) - \beta^2 I_1 \alpha_1 = 0.$$

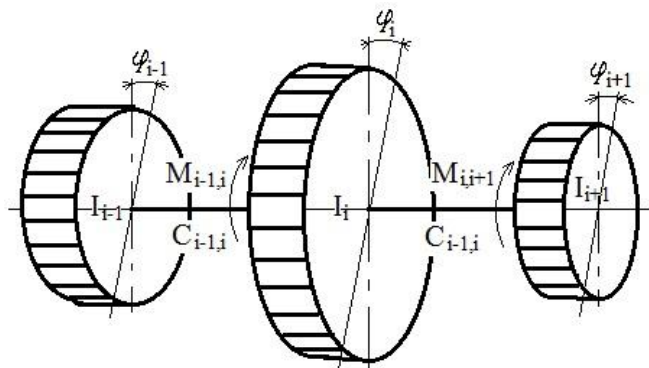


Рисунок 3 – Расчетная схема метода Толе-Крылова

или

$$M_{12}/A_1 = M_{01}/A_1 - \beta^2 I_1 \alpha_1 = C_{12} (\alpha_2 - \alpha_1).$$

При условии $M_{01} = 0$ и $A_1 = 1$,

$$M_{12} = \beta^2 I_1 \alpha_1 = -C_{12} (\alpha_2 - \alpha_1),$$

$$\alpha_2 = \alpha_1 - \beta^2 I_1 \alpha_1 / C_{12} = \alpha_1 + M_{12} / C_{12}.$$

Для второй массы аналогично:

$$M_{23}/A_1 = M_{12}/A_1 - \beta^2 I_2 \alpha_2 = C_{23} (\alpha_3 - \alpha_2),$$

$$\alpha_3 = \alpha_2 + M_{23} / C_{23}.$$

Для n -ой массы

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} + M_{n-1,n} / C_{n-1,n}.$$

Момент сил упругости $M_{n-1,n}$ за последней массой всегда равен нулю, поэтому если собственная частота найдена правильно, то

$$M_{n,n+1}/A_1 = M_{n-1,n}/A_1 - \alpha_n \beta^2 I_n = 0.$$

Таким образом последовательным перебором частот β можно добиться условия $M_{n,n+1} = 0$, β в этом случае является одной из частот собственных колебаний многомассовой системы.

ВЛИЯНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ НА ВЕЛИЧИНУ ТОКОВ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ С О-ОБРАЗНЫМ МАГНИТОПРОВОДОМ

Кульдьяйкин Д.С. – студент, Левагин А.В. – студент, Кондриков В.В. – студент,
Мазко К.А. – студент, Левшин Г.Е. – д.т.н., профессор

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В литейной лаборатории АлтГТУ исследуются конструкции и технология нового вида индукционной тигельной плавки в электромагнитных печах с изогнутыми О-, С- и U-образным магнитопроводами, создающими горизонтальный магнитный поток [1].

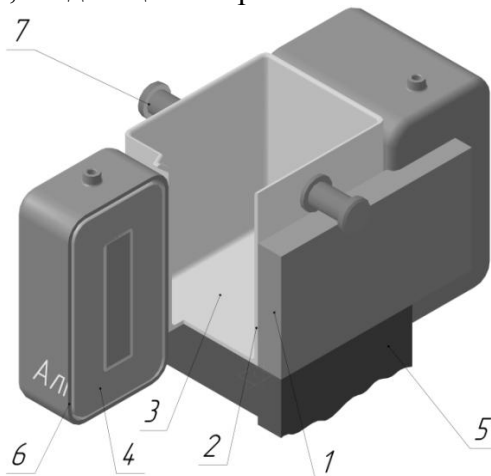


Рис. 1. ЭМО-печь

Так, ЭМО-печь (рис.1) содержит горизонтальный О-образный магнитопровод 1, являющийся ее корпусом, металлический или огнеупорный футерованный тигель 2 с ванной 3, два индуктора 4 с витками, батарею конденсаторов (не показана). Корпус-магнитопровод 1 набран из тонких пластин электротехнической стали и установлен на основание 5. Индукторы 4 защищены от внешних воздействий неэлектропроводным кожухом 6, в который подается хладагент. Витки индуктора 4 могут быть выполнены из медной трубки или не полых медных проводников: гибкого кабеля, провода или шинки, имеющих электроизоляционный слой.

Тигель 2 размещен между индукторами 4 и полюсами N и S магнитопровода 1 с минимально возможным зазором. Он может быть установлен на основание 5 или подвешен

на цапфах 7, опирающихся на верхние торцы магнитопровода 1. Тигель можно извлекать из рабочего объема V_p магнитопровода 1 [2].

Исследования проводили на печи ЭМО-31-46М, имеющей $V_p=31$ дм³ и 46 витков гибкого медного кабеля в резиновой оболочке.

Наличие в ЭМО-печи двух индукторов (электрических катушек (ЭК)), охватывающих О-образный магнитопровод, обуславливает их большую индуктивность L и связанную с этим необходимость компенсации реактивной мощности. Выбрали наиболее распространенный способ с помощью конденсаторной батареи (КБ), подключенной параллельно к ЭК, соединенных между собой последовательно и встречно (рис. 2). Однако в доступной литературе не обнаружены рекомендации или формулы для определения необходимой емкости КБ в такой электрической цепи (в т. ч. для получения резонанса токов ЭК $I_{ЭК}$ и батареи $I_{КБ}$). Поэтому подключали конденсаторные банки с различной емкостью $C=80 - 800$ мкФ по одной и измеряли электрическими клещами мод. 266 упомянутые токи, а также общий ток $I_{общ}$, потребляемый из сети 220 В.

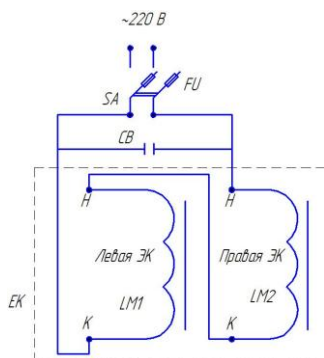


Рис. 2. Схема подключения

По этим результатам построили графики зависимости средних токов $I_{общ}$, $I_{ЭК}$ и $I_{КБ}$ от емкости C КБ (рис. 3) и нашли уравнения их аппроксимации квадратичной функцией.

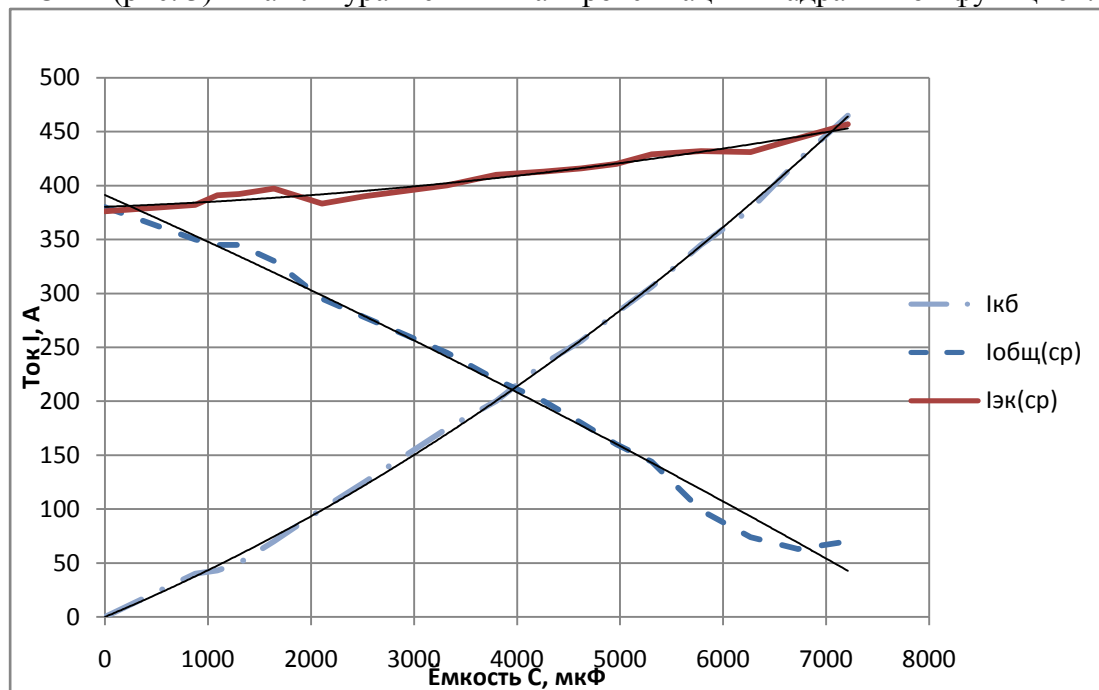


Рис. 3. Зависимость токов $I_{общ}$, $I_{ЭК}$ и $I_{КБ}$ от емкости C КБ

Уравнения аппроксимации при изменении емкости от 0 до 7211 мкФ:

$$I_{общ} = -0,0000008C^2 - 0,0426C + 391,24 \text{ с достоверностью } R^2 = 0,9964;$$

$$I_{ЭК} = 0,0000009C^2 + 0,0036C + 380,41; \text{ с достоверностью } R^2 = 0,9588;$$

$$I_{КБ} = 0,000003C^2 + 0,0399C; \text{ с достоверностью } R^2 = 0,9995.$$

Анализ полученных данных показывает:

1) при увеличении емкости КБ с 0 до 7211 мкФ $I_{ЭК}$ возрастает с 376 до 457 А, а $I_{КБ}$ с 0 до 465 А. Средний общий ток $I_{общ}$ понизился с 380 до 70 А. Однако наибольшее его снижение до 64 А наблюдается при $C=6726$ мкФ. При этом минимальна потребляемая из сети мощность $S_{потр}=220 \times 64=14080$ ВА=14,1 кВА. График же показывает, что при $C=7000$ мкФ общий ток может снизиться до 50 А, а мощность $S_{потр}$ до 11 кВА;

2) судя по графикам токов $I_{ЭК}$ и $I_{КБ}$ их равенство достигается при $C \approx 7100$ мкФ. Величина токов достигает 450 А, а мощность S_{L-C} , циркулирующая в контуре L-C, равна 99 кВА (в 9 раз больше потребляемой);

3) искомую емкость C при равенстве токов $I_{ЭК}$ и $I_{КБ}$ можно найти, решая совместно соответствующие аппроксимационные уравнения. Она равна $C=7357,143$ мкФ. Это больше, чем по графику;

4) весьма малые значения коэффициентов при C^2 в уравнениях для $I_{общ}$ и $I_{ЭК}$ и практически прямолинейный вид графиков позволяет аппроксимировать их уравнением первой степени. Так, линейная аппроксимация для среднего тока в катушках $I_{ЭК}=0,0101C+372,79$; с достоверностью $R^2=0,933$; среднего значения общего тока: $I_{общ}=-0,0484C+398,04$; с $R^2=0,9888$; тока в конденсаторной батарее: $I_{КБ}=0,0587C$; с $R^2=0,9788$. Достоверность линейной аппроксимации ниже, чем квадратичной. Совместное решение уравнений для $I_{ЭК}$ и $I_{КБ}$ дает $C=7670,576$ мкФ. Это еще больше, чем по графику и при решении квадратичных уравнений;

5) емкость КБ для достижения искомого равенства токов $I_{ЭК}$ и $I_{КБ}$ можно оценить приближенно по формуле:

$$C_{расч}=1/2\pi f X_C,$$

где $X_C \approx Z \approx U/I_{ЭК} \approx 220/376 \approx 0,585$ Ом.

Тогда $C_{расч} \approx 1/314 \times 0,585 \approx 5443,6$ мкФ, что заметно меньше экспериментальной емкости $C_{эксп}$

Это можно объяснить снижением емкости отдельных конденсаторных банок от номинального значения из-за нормированных отклонений и их длительного хранения, неточного определения X_C и, возможно, не полной адекватности использованной формулы. Однако ее можно рекомендовать для определения минимально необходимой емкости.

Список литературы

1. Левшин Г. Е., Кульдяйкин Д. С., Левагин А. В. Развитие индукционной тигельной плавки в печах промышленной частоты // Матер. 1 международ. научно-практ. конф. – Новосибирск: НГТУ, 2014 - С. 33-36.

2. Вагайцев О. П., Кульдяйкин Д. С., Левагин А. В., Левшин Г. Е. Электромагнитная индукционная тигельная плавильная печь с О-образным магнитопроводом и горизонтальным магнитным потоком // Горизонты образования. – Барнаул: АлтГТУ. 2013. Вып. 15.

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЕМКОСТИ КОМПЕНСИРУЮЩИХ КОНДЕНСАТОРОВ ИНДУКЦИОННОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ПЕЧИ С С-ОБРАЗНЫМ МАГНИТОПРОВОДОМ

Кульдяйкин Д.С. – студент, Левагин А.В. – студент, Кондриков В.В. – студент,
Мазко К.А. – студент, Левшин Г.Е. – д.т.н., профессор

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В литейной лаборатории АлтГТУ исследуются конструкции и технология нового вида индукционной тигельной плавки в электромагнитных печах с изогнутыми О-, С- и U-образным магнитопроводами, создающими горизонтальный магнитный поток [1].

Электромагнитная индукционная плавильная ЭМС-печь содержит горизонтальный незамкнутый С-образный магнитопровод 1 (рис. 1), являющийся ее корпусом, металлический или огнеупорный футерованный тигель 2 с ванной 3, индуктор 4 с витками,

батарею конденсаторов (не показана). Корпус-магнитопровод 1 набран из тонких пластин электротехнической стали и установлен на основание 5. Индуктор 4 защищен от внешних воздействий неэлектропроводным кожухом 6, в который подается хладагент. Витки индуктора 4 могут быть выполнены из медной трубки или не полых медных проводников: гибкого кабеля, провода или шинки, имеющих электроизоляционный слой.

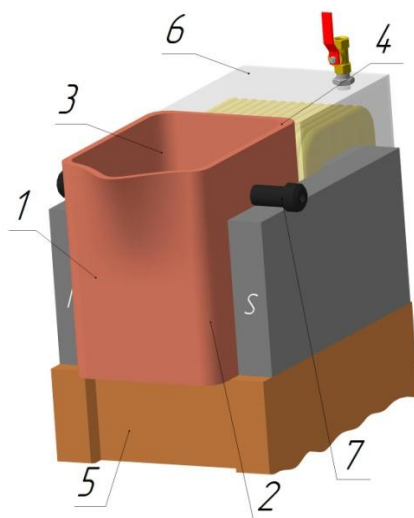


Рис.1. ЭМС-печь

Тигель 2 размещен между индукторами 4 и полюсами N и S магнитопровода 1 с минимально возможным зазором. Он может быть установлен на основание 5 или подвешен на цапфах, опирающихся на верхние торцы магнитопровода 1. Тигель можно извлекать из рабочего объема V_p магнитопровода 1 [2].

Наличие в индукционной электромагнитной печи с С-образным магнитопроводом 1 (ЭМС-печи) электрической катушки (ЭК) 4, охватывающей изогнутый разомкнутый магнитопровод 1, обуславливает ее большую индуктивность L и связанную с этим необходимость компенсации реактивной мощности (рис. 1) [1, 2].

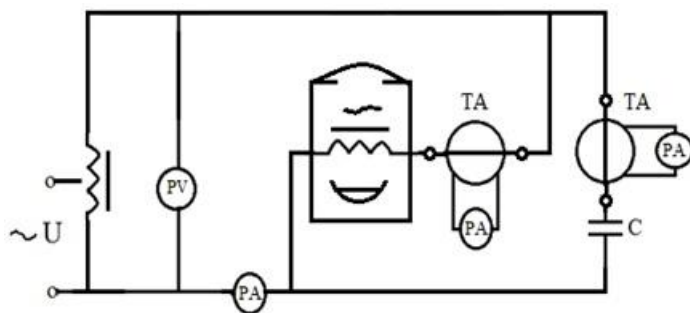


Рис. 2. Схема подключения печи ЭМС-5,7-60М

Выбрали способ компенсации с помощью конденсаторной батареи (КБ), подключенной параллельно ЭК (рис. 2). Однако в доступной литературе не обнаружены рекомендации или формулы для определения необходимой емкости КБ в такой электрической цепи (в т. ч. для получения резонанса токов ЭК $I_{ЭК}$ и батареи $I_{КБ}$). Поэтому подключали по одной конденсаторные банки типа КС2-0.5-36-2У3 с различной емкостью $C=80 - 800$ мкФ и измеряли амперметрами и электрическими клещами мод. М266 упомянутые токи, а также общий ток $I_{общ}$, потребляемый из сети 220 В.

Вначале использовали печь ЭМС-5,7-60М, имеющую $V_p=5,7$ дм³ и 60 витков медного провода в лаковой изоляции, на которой провели опыты по приближению к резонансу токов

$I_{\text{ЭК}} = I_{\text{КБ}}$. Выставили автотрансформатором напряжение $U = 250$ В и подключали конденсаторы по одной банке разных ёмкостей. В итоге при номинальной емкости батареи $C_{\text{эксп}} = 1390$ мкФ добились равенства токов $I_{\text{ЭК}} \approx I_{\text{КБ}} \approx 87 - 88$ А и минимального значения общего тока 11 А. Результаты опытов приведены на рис. 3 в виде графиков зависимости токов от емкости C .

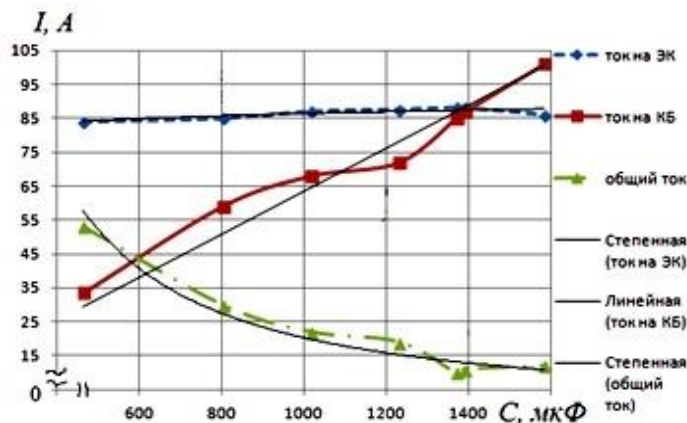


Рис. 3. Зависимость токов $I_{\text{ЭК}}$, $I_{\text{общ}}$ и $I_{\text{КБ}}$ от ёмкости C

Графики аппроксимировали линейной и степенной функцией

$$I_{\text{общ}} = 255724 \cdot C^{-1,367} \text{ с достоверностью } R^2 = 0,9148; \quad I_{\text{КБ}} = 0,0636 \cdot C, \quad R^2 = 0,9533;$$

$$I_{\text{ЭК}} = 68,033 \cdot C^{0,0345}, \quad R^2 = 0,9566.$$

Ёмкость КБ для достижения искомого равенства токов $I_{\text{ЭК}}$ и $I_{\text{КБ}}$ можно оценить приближенно по формуле для ЭК без магнитопровода [3]:

$$C_{\text{расч}} = 1/2\pi f X_C, \quad (1)$$

где $X_C \approx Z \approx U/I_{\text{ЭК}} \approx 220/84 \approx 2,62$ Ом.

Тогда $C_{\text{расч}} \approx 1/314 \times 2,62 \approx 1216$ мкФ, что заметно меньше экспериментальной емкости $C_{\text{эксп}}$. Это можно объяснить снижением емкости отдельных конденсаторных банок от номинального значения из-за нормированных отклонений и их длительного хранения, неточного определения X_C и, возможно, не полной адекватности использованной формулы.

Полученные результаты проверили на печи ЭМС-30,7-30А, имеющей $V_p = 30,7$ дм³ и ЭК из 30 витков строенной алюминиевой шинки в бумажной изоляции с активным сопротивлением $r = 0,0045$ Ом. Подключили ее непосредственно к сети $U = 380$ В без батареи конденсаторов для измерения тока ЭК $I_{\text{ЭК}} = 485$ А, равного общему току. Полное сопротивление ЭК $z = U/I = 0,783$ Ом; $\cos \varphi = r/z = 0,00575$; активная мощность $P = I^2 r = 1352,54$ Вт.

По вышеприведенной формуле высчитали ёмкость батареи $C \approx 4065$ мкФ.

Известна и другая формула для ЭК без магнитопровода [3]:

$$C = \frac{P(tg \varphi_1 - tg \varphi_2)}{2\pi f \cdot U^2} = \frac{1352,54 \cdot (174 - 0,4843)}{314 \cdot 380^2} = 5175,9 \text{ мкФ}, \quad (2)$$

где $tg \varphi_1 = \frac{X_L}{r} = \frac{0,783}{0,0045} = 174$, а $X_L \approx z$.

С ее помощью вычислили ёмкость, необходимую для повышения $\cos \varphi$ с 0,00575 до рекомендуемого значения 0,9. Полученное значение $C = 5175,9$ мкФ значительно больше, чем по формуле (1).

При подключении КБ с номинальной ёмкостью $C = 4236$ мкФ получили: $\cos \varphi = 0,88$ (по фазометру 42L6); $I_{\text{общ}} = 55$ А; $I_{\text{ЭК}} = 550$ А; $I_{\text{КБ}} = 500$ А (при измерении клещами М 266).

При этом мощность, циркулирующая в контуре L-C, $S_{LC} = UI_{\text{эк}} = 209$ кВА, а потребляемая из сети мощность $S_{\text{потр}} = UI_{\text{общ}} = 20,9$ кВА (в 10 раз меньше S_{LC}). Магнитодвижущая сила $Iw = 16500$ А; критерий магнитной энергоемкости $K_M = Iw/V_p = 532$ А/дм³; критерий электрической энергоемкости $K_э = S_{\text{потр}}/V_p = 680,78$ ВА/дм³. Средняя начальная скорость нагрева слитка силумина массой 21 кг составила 5,2 °С/мин.

Выводы. 1. Подключением КБ можно значительно (до 10 раз) снизить потребляемые из сети ток $I_{\text{общ}}$ и мощность $S_{\text{потр}}$.

2. По формуле (1) можно оценить минимально необходимую для удовлетворительной работы ЭМС-печи емкость КБ, а по формуле (2) – максимально возможную.

Список литературы

1. Левшин Г. Е., Кульдяйкин Д. С., Левагин А. В. Развитие индукционной тигельной плавки в печах промышленной частоты// Матер. 1 международ. научно-практ. конф. – Новосибирск: НГТУ, 2014 - С. 33-36.

2. Вагайцев О. П., Кульдяйкин Д. С., Левагин А. В., Левшин Г. Е. Электромагнитная индукционная тигельная плавильная печь с О-образным магнитопроводом и горизонтальным магнитным потоком //Горизонты образования. – Барнаул: АлтГТУ. 2013. Вып. 15.

3. Электротехника /под ред. В.С. Пантюшина. – М.: Высш. школа, 1976. – 560 с.

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ВЫДЕРЖКИ СТАЛИ 20ГФЛ НА КИНЕТИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ

Чертовских Е.О. – аспирант, Околович Г.А. – д.т.н., профессор

Алтайский государственный технический университет им.И.И. Ползунова (г. Барнаул)

С точки зрения стабилизации механических свойств выделим, что определяющим является структура металлической матрицы. Перлитная структура характеризуется высокими показателями предела прочности при растяжении и сравнительно низкими по удлинению. Это связано с тем, что в период кристаллизации наблюдается дендритная ликвация, рост концентрации углерода в твердожидком состоянии, в тот момент, когда выделившиеся в первую очередь колонии аустенита из жидкой фазы, образуют на границах металл-форма, насыщенного жидкого расплава углерода и других элементов, расположенных справа от углерода таблице Менделеева. Затем в аустените наблюдается не равномерное распределение участков феррита и перлита. Ферритная структура повышает относительное удлинение и несколько понижает предел прочности при растяжении [1]. Отсутствие однородности данного распределения химических элементов в металлической матрице стоит рассматривать как разнообразность структурной природы, тем самым используя подобранные режимы нормализации, как стадию оптимизации протекающих процессов, за счет влияния скорости охлаждения на изменения дисперсности цементита в перлите. Ведь именно зарождение усталостных трещин происходит на поверхности исследуемого образца, где наблюдается снижение количества связей в кристаллической решетке, тем самым обозначив условия повышения плотности атомов в самой кристаллической решетке можно добиться условия не возникновения микротрещин.

Усталостное разрушение формируется в области поверхностного слоя на глубине размера зерна, характеризуемое микротекучестью, предшествующей негомогенной деформации фронта Льюиса-Чернова. При формировании фронта пластической деформации на стадии текучести наблюдается зарождение субмикротрещин длиной 100 нм, шириной 1-10 нм, радиусом острия -0,1 нм, образовавшейся в момент встречи полос скольжения с препятствием. Представляет дислокацию, в упругом равновесии с полем напряжения. Появление напряжений обусловлено появлением клина субмикротрещины в исследуемом материале. Отметим, что при низкотемпературном отжиге субмикротрещины захлопываются [2].

В отраслевом ГОСТе «Детали литые тележек двухосных трехэлементных грузовых вагонов железных дорог колеи 1520 мм. Рама боковая и балка наддресорная» прописано, что детали должны подвергаться нормализации с отжигом 1 рода. Отжиг 1 рода подразумевает термовременную обработку без фазовых превращений, а именно температура нагрева не более критической точки A_{c1} . Раму боковую и балку наддресорную изготавливают из сталей 20ГЛ, 20ГФЛ с критическими точками нагрева $A_{c1}=720\text{ }^{\circ}\text{C}$, $A_{c3}=860\text{ }^{\circ}\text{C}$ [3]. Особенностью оджига является замедленное охлаждение, возможно с печью. В нашем случае термообрабатываемые детали крупного литья массой по 500 кг имеют необходимый запас накопленной энергии, препятствующей инертному охлаждению.

При нормализации с нагревом выше температуры A_{c3} на $30\text{-}50\text{ }^{\circ}\text{C}$ и охлаждением на воздухе измельчается литая видманштетовская структура. Увеличение скорости охлаждения ведет к измельчению зерен аустенита, равномерному перераспределению феррито-перлитных областей, так как с повышением переохлаждения число зародышей феррита и перлита в аустените увеличивается. Известно, что высокие показатели ударной вязкости сталей достигаются при сорбитной структуре [4]. Таким образом, технология деликатного охлаждения в сравнении с известными, где воздух вокруг тела нагревается и стоит теплым, то в нашем случае обдув нагретый воздух относит и приносит холодный. Опять из тела выходит тепло и нагревает воздух вокруг него, и опять поток уносит теплый воздух. Когда выйдет много тепла из тела процесс диффузии обеспечивает дисперсионное распределение феррита к перлиту, пересыщение кинетики охлаждения с выделением внутренней энергии подводит к завершению протекающего режима с выходом на процесс рекристаллизации, засчет самоотпуска.

Исследование влияния скорости охлаждения на кинетику фазовых превращений рассматривали в области феррито-перлитных превращений. В соответствии с матрицей планирования полного факторного эксперимента, в качестве входных данных использованы: температура нагрева, время термообработки, скорость охлаждаемого воздушного потока. Для лучшей наглядности полученных результатов, авторы считают наиболее информативным выражать кривые кинетических превращений построенные через зависимость скорости охлаждаемого потока воздуха и времени охлаждения (рис. 1).

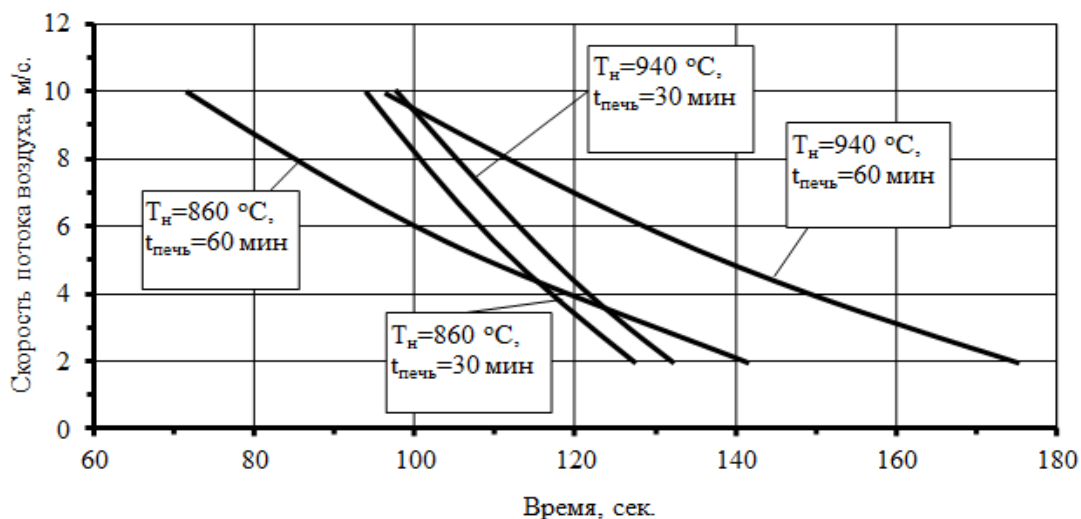


Рис.1 Кинетические кривые охлаждения стали 20ГЛ до температуры $350\text{ }^{\circ}\text{C}$

С помощью термопар, зачеканных в образцах, производилась автофиксация температуры и времени на персональный компьютер с частотой временного периода в 1 сек. Время нагрева образца с габаритами $50\times 10\times 10\text{ мм}$ от комнатной температуры до режимных температур нормализации $860\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $940\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляло 11 мин, а именно скорость нагрева $78\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ и $85\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$.

В соответствии с проведенным экспериментом на образцах, подверженных различным режимам термообработки, была выявлена единая закономерность кинетического охлаждения

в зависимости от времени выдержки в лабораторной печи. Таким образом отмечено, что термообработанные образцы в одном интервале времени при разных температурах нагрева 860 °С и 940 °С имели общую закономерность изменения скорости охлаждения. Диапазон скорости охлаждения исследуемых образцов изменяется от 1,5 до 3,1 °С/сек соответственно при изменении времени выдержки с 60 мин до 30 мин.

На основании полученных результатов эксперимента построена математическая модель расчета скорости охлаждения стали 20ГЛ, с варьированием режимами термообработки в интервале 860÷940 °С, основанная на исчислении регрессионной функции, °С/сек:

$$V_{\text{охл.}} = 5,013 - 0,013T_{\text{н}} + 0,037t_{\text{обр}} + 1,162V_{\text{возд.}}$$

где начальная температура $T_{\text{н}}$, °С; время термообработки $t_{\text{обр}}$, мин; скорость потока воздуха $V_{\text{возд.}}$, м/с.

Проверка статистической адекватности полученной математической модели проводили по критерию Фишера. Согласно, обобщенным расчетам $S_{\text{ад}}^2 = 0,511$; $S_{\{V_{\text{охл.}}\}}^2 = 1,838$; $F = 0,278$; $F_{f1f2} = 7,85$ – регрессионная модель соответствует требованию адекватности. По критерию Стьюдента наиболее значимым показателем является скорость потока охлаждаемого воздуха $V_{\text{возд.}}$.

Обнаруженное явление влияния увеличения времени термообработки можно характеризовать в виде диффузионного процесс гомогенизации во внутризеренном пространстве, упорядочивающее кристаллографические связи, приводящее к формированию равновесной структуры в области растущего зерна. Соответственно изотермические превращения протекающие в момент кинетического переохлаждения подвержены воздействию времени выдержки. При увеличении времени термообработки образцов вероятно следует увеличивать скорость охлаждения для формирования фазовых превращений в заданном интервале, отвечающем за строение и формирование желаемого кинетического превращения косвенно связанные с механическими свойствами стали. Так после нормализации по режимам при увеличении времени выдержки с 30 до 60 мин ударная вязкость повысилась:

1. $T_{\text{н}} = 860$ °С; $t_{\text{обр}} = 30$ мин; $V_{\text{возд.}} = 8$ м/с; $KCV^{-60} = 35,8$ Дж/см²;
2. $T_{\text{н}} = 860$ °С; $t_{\text{обр}} = 60$ мин; $V_{\text{возд.}} = 3$ м/с; $KCV^{-60} = 38,5$ Дж/см².

Выводы:

1. Увеличение времени выдержки при нормализации стали 20ГЛ приводит к изменению физико-механических характеристик материала, отражаемых в его теплоотдаче.
2. Нормализация совмещенная с ускоренным охлаждением до 600 °С, обеспечивает протекания произвольного самоотпуска, ведущего к снижению внутренних напряжений, рекристаллизации и повышению механических свойств материала.

Список литературы:

1. Кудрявцев И.В. Материалы в машиностроении. Выбор и применение. том 4, 1989 г, 248с.
2. Терентьев В.Ф., Оксогоев А.А. Циклическая прочность металлических материалов: Учеб. Пособие.-Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001.-61 с.
3. Попов А.А., Попова Л.Е. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита, МАШГИЗ, Москва, 1961, 423 с.
4. Тавадзе Ф.Н. Металлургия железа. Основы металлографии. Том.1. ,1972 г, 240с.

ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ СТАЛИ 20ГФЛ ПОСЛЕ НОРМАЛИЗАЦИИ

Чертовских Е.О. – аспирант, Околович Г.А. – д.т.н., профессор

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Исследование микроструктуры стали 20ГФЛ показывает, что продукты превращения после охлаждения дискретны не только в различных зернах, но и в пределах одного зерна (рис.1). В сталях с одинаковым химическим составом на равномерное распределение аустенита по всему объему влияет степень его подготовки до начала превращения. Поэтому из-за ликвации его свойства в различных точках одного и того же зерна существенно отличаются.

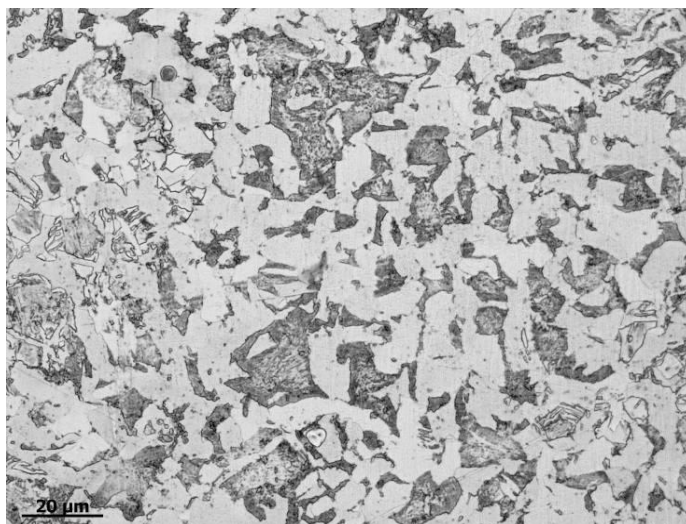


Рис.1. Микроструктура стали 20ГФЛ после 940 °С, время 1 час, Voхл (скорость охлаждения воздушным потоком) -10 м/с

Исследования продолжительности инкубационного периода, характеризующего устойчивость переохлажденного аустенита и области начавшегося, но еще не незакончившегося превращения аустенита в перлит вызывает наибольший интерес с точки зрения формирования оптимальной структуры в стали 20ГФЛ. В перлитном превращении ведущей фазой является цементит. В результате формирования пластинок цементита аустенит обедняется углеродом, что приводит к образованию пластинок феррита. Таким образом, увеличение количества зародышей новой фазы приводит к росту числа чередующихся пластинок феррита и цементита. Понижение температуры способствует увеличению дисперсности продуктов превращения. Это проявляется в уменьшении расстояния между соседними пластинками феррита и цементита (рис.2).

Проведенные исследования согласуются с работой автора [1] влияния обратимой водородной хрупкости на ударную вязкость без термообработки литой структуры образца низкоуглеродистой стали. Результаты показателя ударной вязкости наводороженного образца $0,3 \text{ см}^3/100 \text{ г}$, что оставляет порядка одного атома водорода на миллион атомов железа, в сравнении с ненаводороженным образцом существенно не отличаются. Затем следовавшая термическая обработка по режиму 860 °С с выдержкой 1 час охрупчивала сталь настолько, что показатель ударной вязкости снижался в 3 раза. Соответственно водородное охрупчивание наблюдалось в стали после термообработки не влияющей на изменение среднего размера зерна, а только трансформирующая карбидную фазу и структуру на дислокационном и атомарном уровне. Наблюдаемая связь между структурой и влиянием обратимой водородной хрупкостью может быть найдена, с помощью полного факторного планирования.

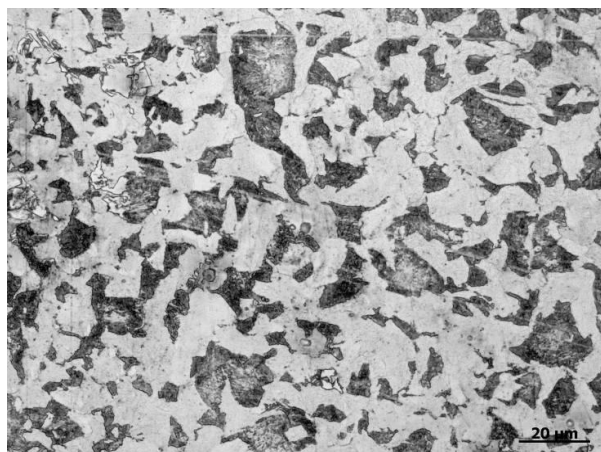


Рис.2. Микроструктура стали 20ГФЛ после 940 °С, время выдержки 30 мин, $V_{\text{охл}}$ - 2 м/с

Снижение ударной вязкости обусловлено подготовительной стадией растворения атомов водорода в объеме металла, захват их ловушками, в том числе дислокациями при деформации [2]. Затем водород, освобождаемый из дислокаций при образовании субмикротрещины, хемосорбируется на ювенильных поверхностях и в вершине идеально острой зародышевой трещины облегчает разрыв предельно напряженных межатомных связей. В результате снижается уровень нормального растягивающего напряжения необходимого для перехода микротрещины в состояние автокаталитического распространения, а на макро уровне это проявляется как охрупчивающий эффект. К этому необходимо добавить, что современная физика разрушения предлагает большое количество дислокационных моделей образования зародышевых микротрещин [3]. К ним относятся классические модели Стро и Коттрелла. При участии дислокаций разрушаются хрупкие включения, в результате взаимодействия дислокаций с недеформируемыми частицами второй фазы зарождаются микротрещины в месте среза хрупкой пластины, при торможении полос скольжения плоской границей формируются стенка краевых дислокаций, в результате зарождаются микротрещины.

Выводы:

1. Негативное влияние водорода при одноосном растяжении характеризуется критерием сужения, который обладает косвенной связью с показателем ударной вязкости.

Список литературы:

1. Шванко В.И. Водородная хрупкость ОЦК-сплавов железа // Физико-химическая механика материалов. 1999, №4, с.5-15.
2. Походня И.К, В.И. Шванко, Упырь В.Н., Шиян А.В., Котречко С.А. и др. О механизме влияния водорода на хрупкость металлов // ДАН СССР. 1989, 308, №5, с. 1131-1134.
3. Владимиров В.И. Физическая природа разрушения металлов . М.: Металлургия, 1984, 280 с.

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КРЕМНИСТЫХ СТАЛЕЙ

Гертер М.В. – аспирант, Левков В.И. – аспирант, Околович Г.А. – д.т.н., профессор
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Слитки и прокат из кремнистой стали типа 55С2-60С2 характеризуются значительной химической неоднородностью по содержанию углерода и кремния.

При оценке свойств кремнистых пружинных сталей необходимо учитывать их металлургические и технологические характеристики. В процессе прокатки профилей кремнистой стали из-за ликвидации кремния обнаруживается резко выраженная полосчатость, а после охлаждения в структуре образуется ферритная полосчатость.

Если даже этой полосчатости в прокате нет, то она возникает вновь в процессе нагрева до температуры закалки стали, достигая 4-5 балла в середине профиля. Наличие сильной зональной ликвидации углерода и дендритной ликвидации кремния требует различной температуры аустенизации изделий, полученных из разных частей прокатного слитка. При этом науглероживание участков аустенита, обогащенных кремнием, происходит весьма медленно и выравнивание концентрации углерода в условиях ликвидации кремния может вообще не происходить. Поэтому при выборе оптимального режима закалки надо учитывать необходимость получения аустенита достаточно высокой однородности, даже при значительной химической неоднородности стали в исходном состоянии.

Кроме того, выявлена сильная полосчатость структуры – наличие более светлых, обогащенных марганцем, и более темных, обогащенных кремнием, полосок, появление которых является результатом дендритной ликвидации.

Температура закалки пружин, обеспечивающая получение мелкокристаллического мартенсита, соответствует 860-875 °С для стали 50С2 и 850-870 °С с охлаждением в масле или воде для стали 60С2. После закалки достигается максимальная твердость, а после отпуска при 400-470°С – оптимальное сочетание прочности и пластичности.

Максимальная усталостная прочность рессор из стали 50С2 достигается после высокотемпературного нагрева под закалку. Повышение температуры закалки до 880-890 °С улучшает и статические свойства стали 60С2.

Причины положительного влияния нагрева до повышенных температур, повышающих рекомендованные ГОСТом (870 °С) и зарубежные стандартами не установлены. Можно предположить, что основной причиной является повышение химической неоднородности аустенита как по содержанию кремния, так и зависящей от нее однородности распределения углерода.

Однако повышение температуры закалки сверх 960-980 °С недопустимо, так как оно может привести к перегреву и обезуглероживанию.

Максимум предела упругости, повышенная пластичность и вязкость достигается при температуре отпуска 400-450 °С.

Упругие элементы после отпуска целесообразно охлаждать в воде, поскольку, во-первых, при этом в поверхностном слое возникают сжимающие остаточные напряжения, а во-вторых, быстрое охлаждение от температуры отпуска при 500-540 °С предупреждает появление обратимой отпускной хрупкости, но вызывает коробление деталей. Эта отпускная хрупкость, кроме повышения порога хладноломкости, облегчает зарождение усталостных трещин и увеличивает скорость их распространения.

В структуре стали 60С2 после закалки и отпуска при 250-500°С одновременно присутствуют карбидные фазы: ϵ , χ . Fe_3C . Максимальное количество ϵ -карбида отмечается при температуре 350 °С, χ – карбида – при температуре 400 °С. После отпуска при более высоких температурах преимущественно присутствует цементит (Fe_3C). Кремний увеличивает устойчивость ϵ -карбида и стабилизирует структуру мартенсита и остаточного аустенита

Исследование старения мартенсита кремнистой пружинной стали показало, что начальные стадии этого процесса контролируется диффузией углерода, но затем контролирующим фактором становится диффузия кремния в ϵ -карбиде, которая повышает устойчивость ϵ -карбида и поэтому цементит появляется в кремнистой стали лишь после отпуска при 400 °С, тогда как в углеродистой стали – уже после отпуска при 250 °С.

Другим недостатком кремнистых пружинных сталей является их повышенная склонность к обезуглероживанию, поэтому по ГОСТ 14959-69 допускается большая глубина слоя – 0,5% от толщины проката. Наличие обезуглероженного слоя снижает усталостную прочность стали. Даже если обезуглероженный слой в состоянии поставки незначителен, то он увеличивается при нагреве под закалку в печах без защитной атмосфере и способствует возникновению поверхностных трещин глубиной до 1,5-2,0 мм вследствие растягивающих напряжений при мартенситных превращениях в сердцевине .

Для улучшения свойств упругих элементов из кремнистой стали, имеющей обезуглероженный слой, целесообразно подвергать дробеструйному наклепу

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ РАЗДЕЛЕНИЯ ПРУТКА НА МЕРНЫЕ ЗАГОТОВКИ

Чупахин Д.М. – студент, Резниченко С.В. – студент, Поксеваткин М.И. – к.т.н., профессор
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Широко применяемый способ рубки прутка в штампах сопряжен с невысоким качеством мерных заготовок (утяжка, неплоскостность и непараллельность поверхностей раздела, большой угол скоса торцов заготовки и др. дефекты) [1].

Более качественные заготовки получают обкаткой заготовки клиновым инструментом, совмещенным с плоскостью разделения прутка [2].

По способу [2] прутки подают до совмещения плоскости разделения с плоскостью внедрения клинового инструмента, выполненного в виде ролика с V-образной рабочей кромкой. Затем сообщают клиновому инструменту вращательное движение и прикладывают к клиновому инструменту деформирующее усилие одновременно с приложением нажимного усилия к консольному концу длинномерной заготовки. После формирования V-образной канавки в плоскости разделения прутка длинномерную заготовку отделяют от прутка. Следует учесть, что нажимное усилие к консольному концу длинномерной заготовки и деформирующее усилие к клиновому инструменту прикладывают одностронне относительно оси прутка в общей продольной радиальной плоскости, имеющей возможность вращательного движения вокруг продольной оси прутка. Возникающие при этом периодически чередующиеся напряжения растяжения и сжатия в плоскости разделения прутка устанавливают в диапазоне от величины предела упругости металла на момент внедрения клинового инструмента до величины не менее значения предела текучести металла на сдвиг к моменту отделения длинномерной заготовки от прутка. В результате обеспечивается повышенное качество длинномерных заготовок.

Однако, высокое качество мерных заготовок может быть получено только в результате точного расчета технологических параметров процесса резки.

Расчет технологических параметров процесса осуществляют в следующем порядке.

1. Определяют величину нажимного усилия из соотношений:

$$M_{\text{изг}} = \sigma_y \cdot W_{\text{изг}}, \text{ кг} \cdot \text{м}; \quad (1)$$

$$M_{\text{изг}} = P_n \cdot l, \text{ кг} \cdot \text{м}; \quad (2)$$

где $M_{\text{изг}}$ - изгибающий момент в плоскости разделения прутка на мерные заготовки;

σ_y - предел упругости стали, МПа; принимают $\sigma_y = \sigma_m$

$$W_{\text{изг}} = \frac{\pi \cdot d_k^3}{32} - \text{момент сопротивления сечения, мм}^3,$$

где d_k - диаметр клиновой канавки;

h - глубина фаски;

P_n - нажимное усилие, кг.

$$P_n = \frac{\sigma_y \cdot W_{\text{изг}}}{l}$$

2. Определяют величину отклонения консольной части мерной заготовки под действием нажимного усилия.

$$f = \frac{1^2 \cdot M_{\text{изг}}}{2 \cdot E \cdot I_{\text{изг}}}, \text{ мм}, \quad (3)$$

где f - величина отклонения консольной части мерной заготовки, мм;

$E = 2 \cdot 10^5$ - модуль упругости стали, МПа;

$I_{\text{изг}} = \frac{\pi \cdot r^4}{4}$ - момент инерции поперечного сечения в плоскости разделения прутка, мм⁴;

r - радиус заготовки, мм.

3. Определяют количество циклов (N) (оборотов ротора), необходимое для получения поверхности усталостного разрушения и отделения мерной заготовки от прутка. [3]

$$N = \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{\lambda_p}{\lambda} \right)^{\frac{1}{\gamma}}, \text{ где } \lambda_p - \text{ степень деформации;}$$

λ - размах пластической деформации;

γ - параметр, определяемый по таблице.

4. Определяют угол (α) скоса нажимной обоймы для радиального перемещения державки.

$$\operatorname{tg} \alpha = h / S_n;$$

Здесь:

h - высота торцевой фаски (по условию);

S_n - подача.

5. Определяют угол (β) скоса нажимной обоймы для радиального перемещения державки:

$$\operatorname{tg} \beta = f / S_n.$$

При 6-цикловом процессе отделения мерной заготовки от прутка ход (L) перемещения нажимной обоймы составляет $L = N \cdot S_n$.

6. Определяют предел текучести металла на сдвиг по известной формуле

$$\tau_s = 0,58 \cdot \sigma_s,$$

где τ_s - предел текучести металла на сдвиг, МПа;

σ_s - сопротивление деформации, МПа;

для практических расчетов принимают $\sigma_s \approx \sigma_b$

Алгоритм рационализации технологических параметров представлен на рис. 1.

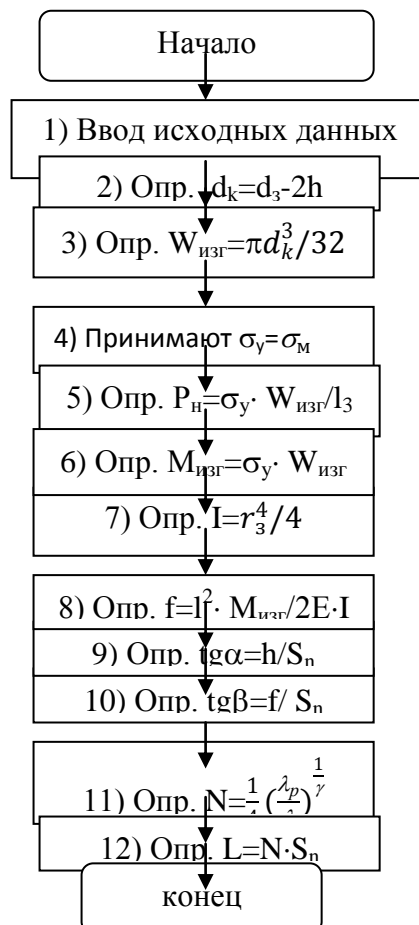


Рисунок 1 – Алгоритм расчета технологических параметров разделения прутка на мерные заготовки.

Исходные данные:

диаметр (d_3) и длина (l_3) мерной заготовки;

h и φ - собственно глубина внедрения инструмента и угол скоса фаски;

σ_b и σ_m - соответственно предел прочности и текучести стали, МПа;

n – частота вращения ротора, мм/об;

S_n – подача обоймы, мм.

Описание алгоритма:

В блоках 1÷3 вводим технические данные, определяем диаметр d_k и момент сопротивления сечения $W_{изг.}$; далее в блоках 4÷6 принимают $\sigma_y = \sigma_m$, определяют усилие нажима P_n и изгибающий момент $M_{изг.}$ и т.д.

Список литературы:

1. Ковка и штамповка. Справочник в 4-х т. Т.1. Под ред. Е.И. Семенова. М.: Машиностроение. 1985. – С.13, табл.7.
2. Патент РФ №2508187. Способ разделения прутка на длинномерные заготовки./Поксеваткин М.И., Дунаев К.Ю., Поксеваткин Д.М.. Опубл: 2014. Бюл. №6

ВЫБОР СТАЛИ ДЛЯ КОВОЧНЫХ ВАЛЬЦЕВ

Ионин Г.С.- студент, Огневой В.Я. – к.т.н., профессор

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Инструментами для горячего деформирования пружин являются ковочные вальцы и завивочный комплекс. Основные технологические операции: оттяжка концов прутка и последующая завивка пружины. Нагрузка на формирующий инструмент весьма сложная. Общим для каждой операции является то, что инструмент деформирует заготовку с температурой 1000-1300 С, которая нагревает инструмент до нескольких сот градусов. С возрастанием температуры происходит разупрочнение поверхности инструмента.

Штампы горячего деформирования работают в весьма жестких условиях, для которых характерны: высокие действующие напряжения, уровни которых приближаются к пределам текучести штамповых сталей: высокие температуры нагрева; циклическое воздействие напряжений от знакопеременных усилий при деформации; термические напряжения, определяемые условиями нагрева и охлаждения штампов; химическое взаимодействие, особенно проявляющееся в процессе прессования и жидкой штамповки. В наиболее тяжелых условиях работает штамповый инструмент при прессовании, высадке, точной штамповке, при прессовании медных сплавов в пресс-формах литья под давлением. Для обеспечения наибольшей стойкости процесс деформирования должен протекать в условиях оптимального режима и нормальных условиях эксплуатации оборудования. При этом необходимо соблюдение расчетного интервала температур штамповки, своевременное удаление окалины с заготовки, работа инструмента без перекосов и смещений. применение эффективной смазки и обдувки штампа, подогрев штампа перед работой и равномерное охлаждение в процессе работы.

По характеру легирования и основным свойствам после окончательной термической обработки стали для горячего деформирования подразделяются на три группы:

1. Стали умеренной теплостойкости и повышенной вязкости применяются для молотовых штампов, крупных прессовых штампов и блоков матриц для ГКМ. Одним из основных требований для них является повышенная вязкость в крупных сечениях (до 700-800 мм). Обеспечение этого требования достигается ограничением содержания карбидообразующих элементов (до ~2.0% Cr; 0.7÷1.0% Mo или W; 0,3÷0.5% V) и легированием никелем - сталь 5ХНМ и 4ХМФС. Термическая обработка заключается в закалке от 850-950°С и отпуске при 500 и 550°С, соответственно, на твердость HRC 40-45.

2. Стали повышенной теплостойкости и вязкости. Это наиболее широко применяемые стали для большинства инструментов горячего деформирования и пресс-форм литья под давлением. Отличительной особенностью их от сталей умеренной теплостойкости является

повышенное содержание карбидообразующих элементов (хрома, молибдена, вольфрама, ванадия). Благодаря этому стали 4X5МФС и 4X4ВМФС (ДИ-22) обладают более высокой теплостойкостью, прочностью при температурах эксплуатации, чем стали 5ХНМ и 4ХМФС.

Температуры закалки теплостойких сталей выбирают из условий получения наибольшей твердости при сохранении достаточно мелкого зерна аустенита, что обеспечивает лучшее сочетание эксплуатационных свойств. Температура закалки стали 4X5МФС - 1020°C на твердость HRC 50-52; после отпуска при 560-580°C, твердость HRC 46-50. Закалка стали 4X4ВМФС выполняется от 1050-1070°C на твердость HRC 55-60; отпуск при 620-640°C на твердость HRC 46-50.

3. Стали высокой теплостойкости. К сталям этой группы следует отнести прежде всего 5ХЗВЗМФС (ДИ-23) и 2Х6В8М2К8.

После закалки от 1100-1200 С и отпуска при 680°C на твердость HRC 46-52, стали сохраняют устойчивость против теплового разупрочнения до 690-730°C соответственно.

Для сравнения: теплостойкость стали 5ХНМ составляет - 600 °С, а 4Х4ВМФС - 650°C.

Правят и оттягивают концы заготовок на молотах, прессах и ковочных вальцах. Ковочные вальцы бывают двух типов: консольного и закрытого. Ковочные вальцы, (рис. 1) являются машиной, которая выполняет операцииковки и прокатки. Ковочные вальцы предназначены для массового изготовления заготовок переменного сечения методом вальцовки металла в горячем состоянии. Вальцы выполняют оттяжку концов прутков, профильную вытяжку в горячем состоянии и ковку симметричных деталей. На вальцах можно выполнять подготовительные операции для последующей обработки. Принцип работы вальцов заключается в обжатии заготовки между двумя валками, вращающимися в разные стороны. На поверхности валка выполнены ручки, которые при обжатии заготовки придают ей требуемую форму. Рабочие валки расположены между стойками. Нижний валок не регулируется по высоте, верхний валок регулируется. Ковочные консольные вальцы имеют станину, состоящую из двух частей: корпуса и крышки, стянутых болтами. Муфта включения — пневматическая однодисковая фрикционная, заблокирована с тормозом.

Вальцы снабжены механизмом регулирования, служащим для изменения расстояния между валками. Расстояние между валками регулируют вручную. Управление вальцами — кнопочное ручное и от ножной электропедали. На вальцах допускаются следующие режимы работы: одиночный ход и автоматический ход.

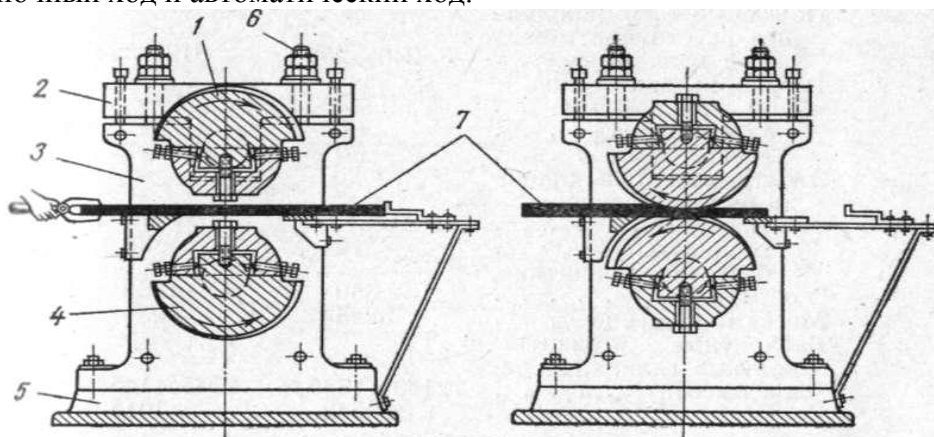


Рис. 33. Ковочные вальцы:

1 — верхний валок в виде сектора с ручьем, 2 — верхняя поперечина, 3 — стойка, 4 — нижний валок в виде сектора с ручьем, 5 — нижняя плита-поперечина, 6 — регулировочные винты, 7 — обрабатываемая заготовка

Рис. Ковочные вальцы закрытого типа

Закрытые ковочные вальцы имеют станину, сваренную из стального листового проката. Станина образует два рабочих окна для доступа в рабочую зону валков. Расстояние между валками можно регулировать. Кроме того, предусмотрено угловое регулирование валков.

Используемая сталь для валков ковочных валец сталь 5ХНМ имеет большую вязкость и прочность при повышенной температуре, разгаростойкостью, окалиностойкостью и хорошей

износостойкостью, хорошей теплопроводностью. При температуре 500 °С сталь 5ХНМ имеет следующие механические свойства: $\sigma_{0,2}=650\text{МПа}$, $\sigma_B=900\text{МПа}$, $\psi=70\%$, $\delta=20-22\%$. Твердость изделий из марки стали 5ХНМ после закалки с отпуском в 550°С и закалки в масле при 840-860 °С, должна быть не менее 36 НRC При эксплуатации инструмента из стали 5ХНМ в температурах более 500°С ее стойкость резко падает, что делает ее не долговечной. При многократном использовании раскаленных прутков на верхнем и нижнем валках происходит деформация, что приводит к образованию канавок. При образовании канавок сечение прутков может получиться с дефектами, что может привести к браку пружины.

Предлагается заменить сталь 5ХНМ на сталь 4Х4ВМФС (ДИ-22).

4Х4ВМФС (ДИ-22) относится к категории износостойких высококачественных штамповых инструментальных сталей. Данный материал обладает повышенной теплостойкостью (до 650 °С) и разгаростойкостью. Наличие в его составе хрома придает хорошую износостойкость и окалиностойкость. Сталь марки 4Х4ВМФС применяется для высадки на горизонтально-ковочных машинах, инструмента машинной высокоскоростной штамповки; пресс-форм для литья медных сплавов под давлением; вставок штампов для горячего деформирования конструкционных легированных сталей и жаропрочных сплавов на кривошипных прессах и молотах.

Таблица 1. Химический состав в стали, 4Х4ВМФС, %

С	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	W	V	Cu
0.37-0.44	0.6-1	0.2-0.5	<0.35	<0.03	<0.03	3.2-4	1.2-1.5	0.8-1.2	0.6-0.9	<0.3

Температуры критических точек стали 4Х4ВМФС: $A_{c1} = 830\text{ °С}$; $A_{c3}= 910\text{ °С}$; $A_{r1}= 670\text{ °С}$; $A_{r3}= 750\text{ °С}$; $M_n = 255\text{ °С}$;

Для ковочных валец из стали 4Х4ВМФС предлагается следующая термическая обработка: закалка 1050 – 1070 °С в масло с последующим двойным отпуском. Первый отпуск 620 – 630 °С, второй отпуск 560 – 580 °С. Данная термообработка позволяет получить твердость 241-299 НВ с повышением теплостойкости валец до 650 °С.

Вывод:

Замена стали валец с 5ХНМ на 4Х4ВМФС целесообразна.

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ СТЕРЖНЕВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Беленко Н.А., Е.В. Петрова Е.В – студенты, Поксеваткин М.И. к.т.н., профессор
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Процесс штамповки стержневых изделий при относительной длине высадки (ψ_e), превышающей допустимую (ψ_g) по продольной устойчивости заготовки, требует использования наборных переходов, обычно выполняемых в конической полости пуансона. Этот процесс сопряжён с повышением трудоёмкости штамповки и пониженным качеством изделий вследствие образования искажённой волокнистой структуры металла [1].

Алгоритмизации способа однопереходной штамповки стержневых изделий [3] при сверхдопустимой по продольной устойчивости относительной длине высадки $\psi_e \gg \psi_g$ заготовки заложены условия монотонного формообразования поковки.

Согласно предложенному способу штамповки стержневых изделий [3] заготовку 1 зажимают в матрице 2, при этом часть (l_m) высаживаемой длины (l_e) заготовки (при условии $\psi_e \leq 2 \psi_g$) размещают в полости матрицы (при $l_m \leq \psi_g \cdot D$), а участок (l_k) заготовки устанавливают в направляющей втулке 3.(рис 1)

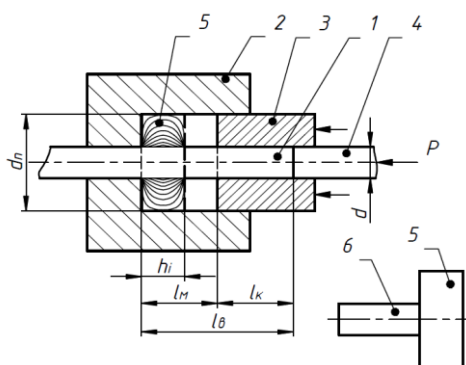


Рисунок 1 – Схема штамповки стержневых изделий [3]: 1- заготовка; 2- матрица; 3 – направляющая втулка; 4 – пуансон; 5- формируемое утолщение 6 – изделие.

Участок l_c предварительно нагревают до ковочной температуры, а участок l_k подвергают градиентному нагреву, обеспечивая условие:

$$\sigma_{\text{в}i}(t_i) = \sigma_{\text{в}M}(t_M, \varepsilon, \xi, \tau), \quad (1)$$

где $\sigma_{\text{в}i}$ и $\sigma_{\text{в}M}$ – соответственно сопротивление деформации (предел прочности металла при температуре штамповки, МПа) участков l_k и l_m ;

t_i – варьируемая температура нагрева участка l_k в i -ые моменты времени, °С;

t_M – температура нагрева участка l_m , °С;

ε и ξ – соответственно степень и скорость (с^{-1}) деформации металла в полости матрицы;

τ – время протекания процесса штамповки, с.

Под действием пуансона 4 металл участка l_k последовательно вытесняется из направляющей втулки 3 в полость матрицы 2, формируя утолщение (h_n) 5 изделия 6 до момента завершения перемещений пуансона 4 и направляющей втулки 3 равного ($l_m - h_n$).

При этом возможные виды волокнистого строения металла утолщения (головки) 5 изделия 6 показаны на рисунке 2.

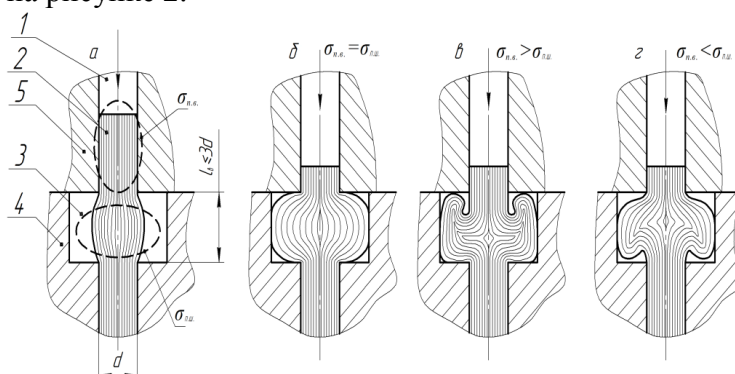


Рисунок 2 – Схема строения волокон поковки в процессе формирования утолщения стержневой поковки:

1 - заготовка; 2 - матрица; 3 - направляющая втулка; 4 - пуансон; 5 – очаг деформации; 6-формируемое изделие

а – начало процесса высадки; б – высадка при $\sigma_{\text{в}i} = \sigma_{\text{в}M}$;

в – образование дефекта в зоне разъема при нарушении условий монотонности $\sigma_{\text{в}i} > \sigma_{\text{в}M}$;

г – образование дефекта на дне полости матрицы при нарушении условий монотонности $\sigma_{\text{в}i} < \sigma_{\text{в}M}$

Условие продольной устойчивости участка l_m заготовки ($\psi_g \leq \psi_g$) в первой (начальной) стадии осесимметричной высадки обеспечивают монотонность протекания процесса деформации (рис. 2,б).

Для идентификации волокон в различных точках сечения утолщения использовали макрошлифы продольного сечения поковки корпуса распылителя

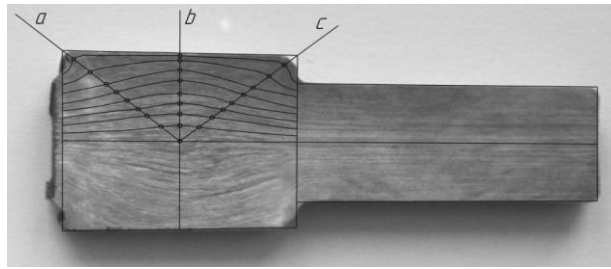


Рисунок 3— Макрошлиф поковки корпуса распылителя с характерно очерченными волокнами металла в очаге деформации (сталь марки Ст2)

По макрошлифу, который представлен на рисунке 4, был произведен обмер расстояний между характерно очерченными волокнами металла. Направление координатных осей выбрано от центра утолщения к периферии угла таким образом, чтобы волокна отображались под одинаковым углом (зеркальном отображении). Идентификацию симметричности волокон в верхней и нижней частях очага деформации осуществляли с использованием показателя S :

$$S = \frac{1}{n} \cdot \sum_i^n \left(\frac{a_i}{b_i} \right) \rightarrow 1, \quad (2)$$

где a и b – величины расстояний между волокнами соответственно в верхней (I) и нижней (II) частях матрицы (очага деформации (рис. 3.5); $i=1, n$ – номера отрезков между волокнами, n – количество отрезков.

Во второй стадии в очаг деформации 5 (рис.) последовательно поступает металл концевого участка (l_k). Если условие (1) выполняется, то в очаге деформации протекает монотонный процесс деформации, о чём свидетельствует симметричность волокнистого строения металла (рис.2,б).

В противном случае происходит нарушение монотонности процесса деформации. В результате искажение волокнистого строения с возможным образованием дефектов в виде зажимов и складок (рис. 2, в, г).

Для удовлетворения условия (1) монотонности процесса деформации разработана модель поиска термомеханических параметров штамповки с использованием градиентного нагрева заготовки [4].

Разработанные модели процесса осуществили в следующем порядке.

Вначале для конкретного металла заготовки предварительно устанавливают температуру (t_n) участка нагрева (l_m) и температуру (t_k) концевого участка (l_k) заготовки; затем рассчитывают температурный параметр $\Theta = (t_n - t_k) / t_n$ при заданном значении t_k ;

Затем определяют время (τ_n) перемещения заготовки к штампу с учётом времени нагрева (τ_n) и транспортировки (τ_m):

$$\tau_n = \tau_n + \tau_m; \quad (3)$$

Длину концевого участка (l_k) при которой выдерживаются заданные температуры нагрева по формуле:

$$l_k = 1,5 \Theta 2a \tau_n, \quad (4)$$

где a – температуропроводность, m^2/c .

По установленным значениям температур (t_n и t_k), согласно закону Курнакова Н.С., определяют температурную зависимость сопротивления деформации описывают показательной функцией: $\alpha (t_n - t_i)$

$$\sigma_{ei} = \sigma_{вн} \cdot e^{\alpha(t_n - t_i)}, \quad (5)$$

где $\sigma_{вн}$ и $\sigma_{вн}$ – пределы прочности нагретого металла соответственно в текущий и начальный моменты времени, Мпа;

α – температурный коэффициент (для одно- и многофазных систем $\alpha = 0,0085$);

t_i и t_n – температура металла соответственно в текущий и начальный моменты времени, $^{\circ}C$.

При штамповке стержневых изделий, например, на горизонтально-штамповочной машине, давление при высадке можно рассчитывать по формуле [1]:

$$p = k_i \cdot \sigma_{BH} , \quad (6)$$

где k_i – коэффициент, зависящий от отношения высоты текущего значения утолщения (h_i) к диаметру (d) заготовки (рис.1), определяемый по графику [1];

Введя допущение, что при монотонном процессе среднее напряжение течения (σ_{BM}) в очаге деформации равно давлению (p) на контакте с инструментом, получим:

$$\sigma_{BM} = 2,2 \sigma_{BH} (1+m/3)^2 \cdot h_i / d . \quad (7)$$

Модель процедуры поиска термомеханических параметров штамповки, удовлетворяющих условию (1), реализована трёхмодульным алгоритмом, представленным на рисунке 5.

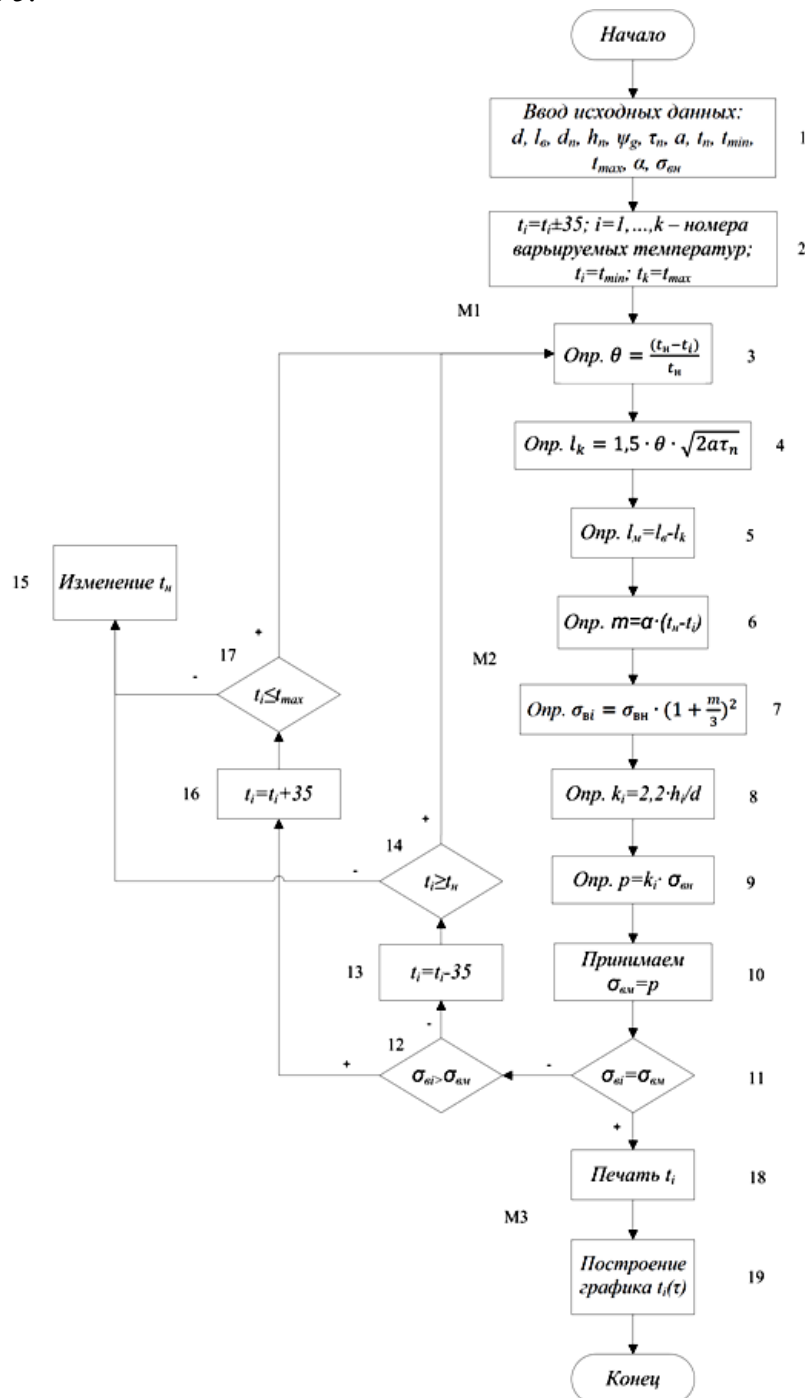


Рисунок 4 – Алгоритм процедуры поиска термомеханических параметров процесса, удовлетворяющих условию монотонности деформации

В первом (информационном) модуле М1 (блоки 1÷5) вводят исходную информацию (блок 1), устанавливают температурные (блоки 2 и 3) и геометрические (блоки 4 и 5) параметры заготовки, необходимые для функционирования второго (поискового) модуля М2 (блоки 6÷7).

Вначале, в блоках 6 и 7 устанавливают температурную зависимость предела прочности металла концевой участка (l_k) заготовки (левая часть условия (1)) в i -ые моменты времени процесса. Затем, в блоках 8÷10 определяют зависимость предела прочности штампуемого металла от температуры и формы очага деформации (h/d) (правая часть условия (1)).

Чтобы выполнить условие (1) приравниваем напряжения $\sigma_{вн}$ и $\sigma_{вн}$ (блок 11). В блоках 12÷17, варьируя температуру (t_i) концевой участка (l_k) с шагом $\Delta t = 35^\circ\text{C}$ добиваются выполнения условия (1) (блок 11).

В третьем (результатирующем) модуле М3 осуществляют печать значений t_i в i -ые моменты времени (блок 18) и построение графической зависимости $t_i = f(\tau)$. Соответственно этой зависимости изготавливают индукционное устройство.

Алгоритм реализован компьютерной программой, которая успешно прошла апробацию. Полученные результаты использованы при штамповке корпуса распылителя ДВС.

Выводы

1 Проведена алгоритмизация поиска термомеханических параметров штамповки выдавливанием, позволяющие в первом приближении реализовать условия монотонности протекания процесса пластической деформации.

2 Модель реализована компьютерной программой, которая успешно опробована .

Литература

1 Ковка и штамповка Справочник в 4-х т. / Ред. Совет: Е.И. Семёнов (предс.) и др. – М.: Машиностроение. 1986. – Т2. Горячая штамповка. Под ред. Е.И. Семёнова. 1986. – 502 с.

2 Смирнов – Аляев Г.А. Сопротивление материалов пластическому деформированию. 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд. 1978. – 368 с.

3 Патент 2365459 РФ. Способ изготовления изделий из длинномерных заготовок / Поксеваткин М.И., Овчаров Г.А., Поксеваткин Д.М., Дунаев К.Ю., Мамонтов М.С. Оpubл. 2009, Бюл. №24.

4 Поксеваткин М.И., Осколков А.И., Мамонтов М.С., Дунаев К.Ю. Определение параметров дифференцированного нагрева стержневых заготовок. КШП ОМД. 2009, №7, с. 30 – 33.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ СТЕРЖНЕВЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДЛИННОМЕРНЫХ ЗАГОТОВОК

Беленко Н.А., Е.В. Петрова Е.В – студенты, Поксеваткин М.И. к.т.н., профессор
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

С целью оптимизации процесса использован градиентный нагрев высаживаемой части заготовки , позволяющий изменять текущие значения теплофизических и механических параметров штампуемого металла [1].

По способу однопереходной штамповки стержневых изделий [2] при сверхдопустимой по продольной устойчивости относительной длине высадки заготовки $\Psi \gg \Psi$ заполнение полости штампа пуансоном 1 высаживают нагретый до ковочной температуры и размещены в полости матрицы 3 участок l_m заготовки 5. Поскольку $l_m < \Psi_d D$, то в очаге деформации наблюдается монотонное течение металла (рис. 1).

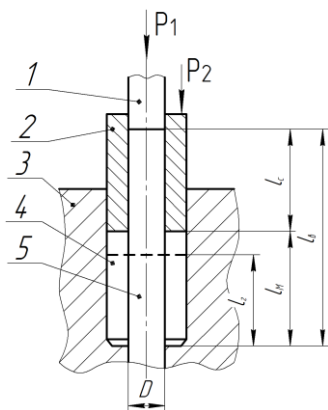


Рисунок 1 – Схема экспериментальной оснастки для однопереходной высадки поковки корпуса распылителя:

- 1 – пуансон;
- 2 – направляющая втулка;
- 3 – матрица;
- 4 – полость матрицы;
- 5 – стержневая заготовка

Далее осуществляют набор металла последовательным вытеснением объема участка l_c из направляющей втулки 2 в полость 4 матрицы 3 и формовку утолщения (l_r) посредством совместного действия пуансона 1 и направляющей втулки 2.

Температурное поле участка l_c определяют в следующем порядке.

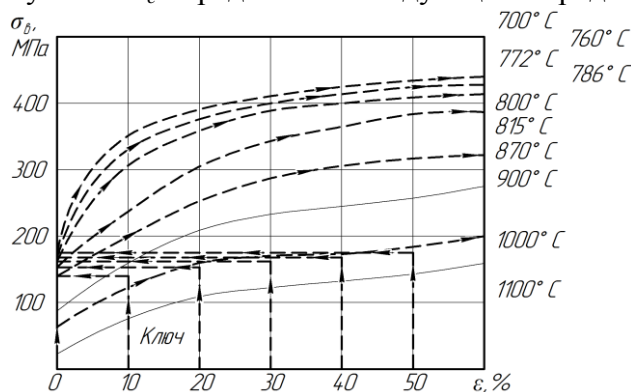


Рисунок 2 – Определение параметров температурного поля участка l_c по кривым упрочнения стали 18X2H4MA при скорости деформации $\zeta=7,5 \text{ c}^{-1}$

С использованием кривых упрочнения для каждой ступени деформации, находят значения предела прочности стали σ_{em} и соответствующие этим значениям температуры нагрева участка l_c . (рис.2).

По значениям предела прочности и температуры построена графическая характеристика температурного поля участка l_c стержневой заготовки (рис.3)

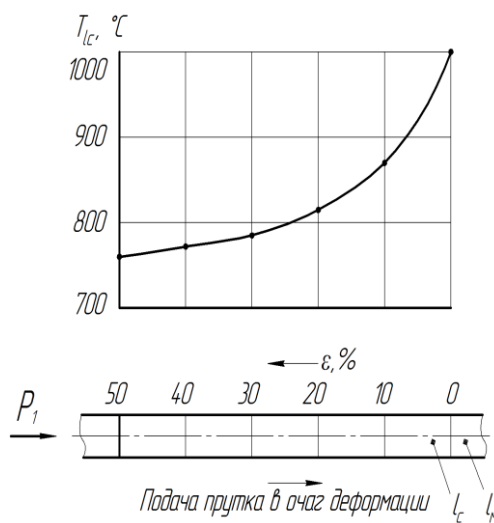


Рисунок 3 – Графическая характеристика температурного поля участка l_c стержневой заготовки из стали 18X2H4MA

Для лучшей идентификации волокон на макрошлифах опытные образцы поковок корпуса распылителя штамповали из стали марки Ст2, для которой с использованием

методов аппроксимации найдены значения $\sigma_{от}$. По найденным значениям, с использованием по изложенной выше методики, были определены параметры температурного поля T_{ci} участка l_c и построена графическая характеристика температурного поля участка l_c для стали Ст2 которую использовали при проведении эксперимента

Поскольку непосредственная количественная оценка степени соответствия полученной структуры металла волокнистому строению, возникающему при монотонности заполнения полости штампа, затруднена, для идентификации волокнистого строения использовали соотношение:

$$z = \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n l_i \right) / l_2, \quad (1)$$

где z – показатель степени удлинения (искажения) волокон при формировании утолщения в полости матрицы в продольной плоскости сечения (условный показатель симметричности волокнистого строения металла);

l_i – длина наиболее вытянутых (в том числе, искаженных) волокон, $i=1...n$ – номера волокон, использованных при измерении длины; n – количество характерных волокон, взятых для замера.

При монотонном заполнении полости штампа из формулы 1 получаем эталонный показатель (z_3):

$$z_3 = l_d / l_2, \quad (2)$$

где l_d – длина дуги крайнего волокна, контактирующего с боковой

Модель идентификации монотонности заполнения полости штампа может быть представлена в виде:

$$f(z) = \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n l_i \right) / l_2 \rightarrow z_3. \quad (3)$$

В результате анализа поперечных структур металла выбраны три макрошлифа с характерной волокнистостью (рис. 5).



Рисунок 4 – Макрошлифы поковок корпуса распылителя полученные в результате эксперимента: а – при $\sigma_{en} < \sigma_{em}$; б – при $\sigma_{en} > \sigma_{em}$; в – при $\sigma_{en} = \sigma_{em}$

На рисунке 4, а явно видно двойное бочкообразование волокон структуры металла с преобразованием их в одинарную бочкуобразную фигуру, так как заполнение полости

быстро завершается в связи с увеличенным радиусом закругления угла матрицы ($r=4,0$ мм). При соотношении $\sigma_{вн} < \sigma_{вм}$ металл участка Γ_c в начале процесса заполнения полости матрицы деформируется в её верхней части с образованием «бочки», затем, в результате упрочнения металла в этой части полости, интенсивность деформации смещается в нижнюю часть матрицы с образованием второй «бочки» и, наконец, происходит слияние двух бочек водинарную

На рисунке 4, б также явно выражено двойное бочкообразование волокон структуры металла. При соотношении сопротивлений деформации $\sigma_{вн} > \sigma_{вм}$, характерно смещение двойной бочкообразной волокнистой фигуры вниз ко дну матрицы в процессе заполнения углов с малым радиусом ($r=1,0$, мм). В этом случае при $\sigma_{вн} > \sigma_{вм}$ в начале процесса заполнения металл деформируется в нижней части матрицы, затем, после заполнения углов, образуется вторая бочка в средней части матрицы;

На рисунке 4 в, в структура макрошлифа наблюдается симметричное волокнистое строение металла в очаге деформации. Совершенно очевидно, что процесс протекал монотонно. Это подтверждает, что основным условием является равенство сопротивлений деформации металла, находящегося в полости штампа и металла, в нее поступающего ($\sigma_{вн} = \sigma_{вм}$).

Выводы:

1. Разработана методика, проведена оптимизация процесса штамповки стержневой заготовки.

2. Разработана методика идентификации монотонности заполнения полости при штамповке стержневых изделий

Литература

1 Смирнов – Аляев Г.А. Сопротивление материалов пластическому деформированию. 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, Ленингр. Отд, 1978. – 368 с.

2 Патент 2365459 РФ. Способ изготовления изделий из длинномерных заготовок / Поксеваткин М.И., Овчаров Г.А., Поксеваткин Д.М., Дунаев К.Ю., Мамонтов М.С. Оpubл. 2009, Бюл. №24.

3 Поксеваткин М.И., Осолков А.И., Мамонтов М.С., Дунаев К.Ю. Определение параметров дифференцированного нагрева стержневых заготовок. КШП ОМД. 2009, №7, с. 30 – 33.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВКИ «ОПРАВКА ПРОШИВНОГО СТАНА»

Ефремов А.В. – студент, Широков Е.В. – к.т.н., доцент.

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Оправка прошивного стана представляет собой отливку, рабочая часть которой является массивным тепловым узлом (Рис. 1). Усадочная раковина, которая образуется в отливке в результате ее затвердевания, располагается в не посредственной близости от ножки оправки (Рис. 2). Такое расположение снижает жесткость конструкции оправки и в процессе ее срабатывания может привести к перекоосу.

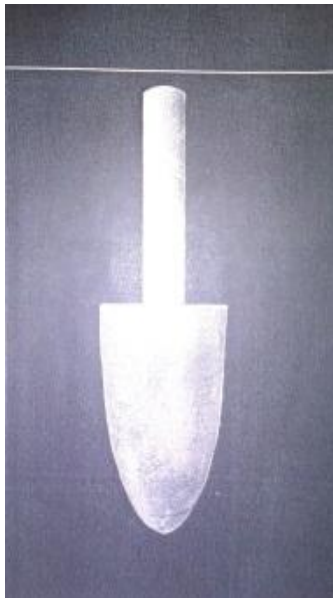


Рис. 1. - Оправка прошивного стана.

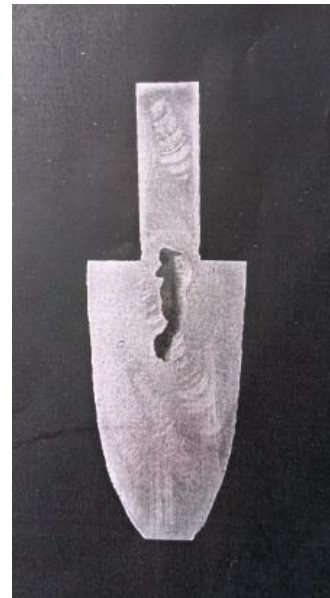


Рис. 2. - Расположение усадочной раковины в теле отливки.

Очевидно, что наиболее оптимальным расположением усадочной раковины является центральная область рабочей части оправки. Однако используемые на практике технологии обеспечить такого оптимального расположения усадочной раковины не могут.

В разрабатываемой технологии процесс формирования усадочной раковины является управляемым процессом позволяющим получить раковину только в центре рабочей части оправки. В этой технологии используется сложное движение сферической изложницы складывающееся из одновременного поступательного и вращательного ее движений в рабочем пространстве специальной установки (Рис. 3). Лабораторная установка позволяющая воспроизвести предлагаемый технологический процесс состоит из опорной рамы, рабочего пространства, двух толкателей, вращающихся вокруг вертикальных параллельных осей, и привода толкателей.

Для осуществления технологического процесса сферическая изложница, заполненная расплавленным материалом, помещается в одну из частей рабочего пространства установки и вращающимся толкателем приводится в движение. Толкающее усилие на изложницу прикладывается в плоскостях проходящих через геометрический центр изложницы. При этом изложница катится одновременно по двум рабочим беговым дорожкам: по горизонтальной, прижимаясь к ней под действием силы веса и по вертикальной, прижимаясь к ней под действием центробежной силы. Такое качение изложницы обеспечивает ее вращение вокруг оси проходящей через центр тяжести изложницы под углом 45° к обеим дорожкам. Перемещение изложницы из одной части рабочего пространства установки в другую часть обеспечивает изменение оси вращения на 90° и вызывает специфическое непрерывное перераспределение жидкой составляющей затвердевающего материала. Такое непрерывное, циклическое перераспределение позволяет сформировать усадочную раковину в центральной области массивной части отливки, если при изготовлении изложницы эту массивную часть расположить в центре сферической изложницы.

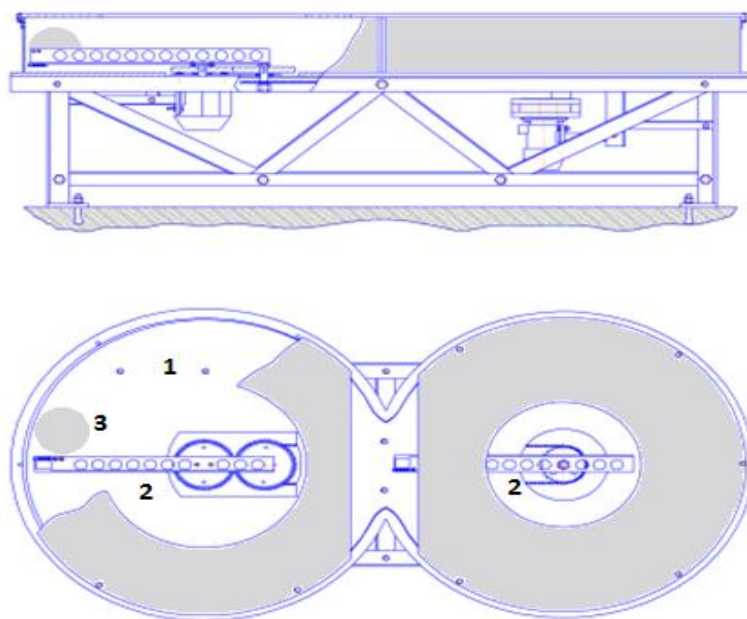


Рис.3. - Лабораторная установка.

1 – рабочее пространство; 2 – толкатель; 3 – изложница

Одним из основных требований к работоспособности предлагаемой технологии является стабильность процесса перемещения сферической изложницы из одной части рабочего пространства установки в другую часть. Другим требованием является обеспечение достаточной скорости вращения изложницы вокруг своей оси на всем протяжении заданной траектории движения. Определение возможности выполнения этих требований отработывалось на установке с использованием пластиковых шаров заполняемых различными жидкими и твердыми материалами. При этом уточнялись конструктивные особенности беговых дорожек и расположение толкателей.

Кроме того, были проведены опыты для определения влияния массы изложницы и ее диаметра на характер перемещения изложницы в рабочем пространстве установки по заданной траектории. Исследования показали неоднозначное влияние этих технологических параметров на характер движения изложницы внутри рабочего пространства установки.

Так, результаты первой серии экспериментов показали, что увеличение массы изложницы снижает длину пробега изложницы от момента прекращения действия на изложницу одного толкателя до момента начала действия другого толкателя (длина свободного пробега). В то же время увеличение диаметра изложницы удлиняет величину свободного пробега изложницы. При этом было зафиксировано, что перемещение изложницы с относительно небольшим наружным диаметром отличается некоторой нестабильностью в плане перемещения по заданной траектории.

Такая особенность в перемещении вызвала необходимость проведения второй серии экспериментов, которая показала, что влияние диаметра изложницы, с относительно небольшой массой на длину свободного пробега имеет прямопротивоположную зависимость по сравнению с изложницами имеющими большую массу.

В целом, проведенные исследования показали, что масса и наружный диаметр изложниц являются не единственными основными параметрами разрабатываемого технологического процесса, а следовательно необходимо определить более широкий ряд параметров, и учитывать их комплексное влияние на характер движения сферических изложниц в рабочем пространстве установки по заданной траектории.