



УДК

Поступила 08.02.2018

## ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА И СХЕМЫ НАНЕСЕНИЯ КАРБОНИТРИРУЮЩЕЙ ОБМАЗКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

*В. Н. ФЕДУЛОВ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь,  
пр. Независимости, 65. Тел. + 37529 631 09 85*

*Положительный эффект от применения нового состава обмазки связан, в первую очередь, с увеличением толщины наносимого слоя обмазки до 20 мм на упрочняемые рабочие поверхности технологической оснастки, введение в ее состав гипса, способствующего повышению технологичности обмазки при нанесении и образованию на поверхности разогретой обмазки корочки, препятствующей выделению газовой фазы из зоны реакции во время нагрева в печи при 520 °С в течение 4–8 ч, а также использование фтористого стронция и увеличение содержания калия железистосинеродистого. За счет отмеченного повышается диффузионная способность процесса насыщения. Применение обмазки нового состава, изменение толщины слоя, а также фиксация температурного режима нагрева обеспечат повышение ресурса работы упрочняемых деталей инструмента в 1,5–2,0 раза.*

*Ключевые слова.* Инструментальная сталь. Карбонитрирование в обмазке. Состав обмазки. Способ нанесения. Пресс-формы литья алюминиевых сплавов. Апробирование в условиях производства инструмента.

## OPTIMIZATION OF COMPOSITION AND APPLICATION SCHEME OF CARBONITRIDING COATING FOR INCREASING THE SURFACE PROPERTIES OF TOOL STEELS

*V. N. FEDULOV, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave.  
Tel. + 37529 631 09 85*

*The positive effect of using a new coating composition is primarily achieved due to the increase of the applied coating layer thickness to 20 mm on the hardened working surfaces of the tooling and due to introduction of gypsum in its composition. These actions improve the machinability of the coating application and the core formation on the surface of the heated coating of the crust, prevent emission of the gas phase from the reaction zone during heating in the furnace at 520 °C for 4 to 8 hours, as well as the use of strontium fluoride and an increase in the ferrocyanic potassium content. The diffusion capacity of the saturation process increases due to these actions. The use of a new composition, the change in the thickness of the layer, and also the fixation of the temperature regime of heating will ensure an increase in the operation life of the hardened tool parts by 1.5–2 times.*

*Keywords.* Tool steel, carbonitriding in the coating, composition of the coating, method of application, die-casting molds of aluminum alloys, testing in the production of tools.

Существенное влияние на стойкость пресс-форм литья под давлением алюминиевых сплавов оказывает структура стали, полученная в результате правильного проведения упрочняющей термической обработки с дополнительным поверхностным упрочнением при химико-термической обработке. Нежелательно присутствие в структуре стали после закалки и отпуска остаточного аустенита, чем хороша сталь 4Х5МФС [1]. На наш взгляд, при закалке еще необходимо добиваться протекания процессов частичной рекристаллизации структуры. Это дает особенно хорошие результаты, когда производится закалка в масле на мартенсит. Образующийся после проведения отпуска мартенсит весьма консервативен к последующим нагревам до высоких температур [2]. Циклическое воздействие температуры в пресс-форме является причиной протекания процессов сфероидизации и коагуляции элементов (фаз) структуры, поэтому лучше иметь пластинчатый тип структуры стали после упрочнения или, например, изготавливать детали матрицы или пуансона из литой заготовки инструментальной стали [3]. По этой причине проведение заключительного отпуска при температуре 550–600 °С, когда происходит образование карбидов  $Me_2C$ , нежелательно, так как мелкие и несложные по строению карбиды легко поддаются процессам растворения

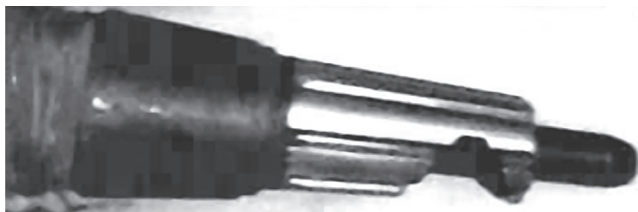


Рис. 1. Общий вид пуансонов из сложнолегированной стали 4X5МФС (впрыск металла происходит в верхнюю канавку пуансона)

ния стойкости рабочих частей инструмента типа пресс-форм. Проведение карбонитрирования формообразующих поверхностей инструмента – это кардинальное изменение химического состава, структурного состояния и свойств инструментальной стали на поверхности инструмента при его изготовлении или восстановлении при ремонте. В результате наблюдений работниками предприятий за поведением пресс-форм в производстве до их выбраковки представится возможным зафиксировать количество теплосмен их работы (полученных годных деталей), а также проследить за кинетикой их постепенного выхода из строя, обеспечить повышение поверхностных свойств при ремонте за счет специальной обработки и выявить характер разрушения при окончании эксплуатации. Наблюдение должно вестись и при пересменке и ремонтных работах [5].

Задачей исследования являлась оптимизация процесса проведения технологического процесса карбонитрирования в обмазке для повышения стойкости деталей рабочих частей из стали 4X5МФС пресс-форм литья алюминиевых сплавов.

Методическая часть работы состояла первоначально в сравнении трех составов обмазок для карбонитрирования по их эффективности поверхностного упрочнения посредством сравнения стойкости пуансонов при проведении восстановительных работ ранее эксплуатируемых пресс-форм. На втором этапе проводили оптимизацию лучшего состава обмазки и технологии ее нанесения на упрочняемые поверхности.

При проведении исследований в литейном цехе ОАО «Амкодор-Белвар» выяснилось, что работники ремонтной службы цеха после того как отливка корпуса большой электромясорубки из алюминиевого сплава начинала застревать на поверхности пуансона из стали 4X5МФС, снимали форму и производили их ремонтную полировку. Застревание отливки происходило на одной из граней пуансона в виде прямоугольной ложбины именно там, куда производился впрыск жидкого металла (рис. 1). После дополнительной ремонтной операции полировки ложбин пуансонов их вновь устанавливали в пресс-форму. После ремонтной стойкость пресс-форм до очередного «застревания» детали на пуансоне в том же месте составляла от 800 до 1000 шт. деталей, снимаемых с двух гнезд (табл. 1, п. 1).

Решение вопроса повышения стойкости пресс-форм в данном случае оказалось довольно простым. После проведения операции ремонтного полирования поверхности всех используемых в пресс-форме пуансонов, особенно в ложбинах и наиболее разогреваемых при работе местах, провели полное поверхностное упрочнение с помощью карбонитрирования в обмазках при температуре нагрева в печи 520 °С в течение 5 ч. Составы обмазок были разработаны автором ранее или в процессе выполнения предварительных лабораторных исследований (табл. 1, п. 2–4).

Схема применения обмазки была следующая. На поддон предварительно смоченная водой обмазка наносится равномерным слоем толщиной 30–40 мм, чтобы выбрать разницу в сечениях пуансонов при их укладке. Затем сверху наносится еще слой смоченной обмазки, чтобы закрыть упрочняемые поверхности деталей (рис. 2). Дается 20 мин на стекание лишней воды за счет уклона, а затем поддон с деталями помещается в предварительно разогретую до температуры 520 °С камерную электропечь и производится нагрев.

или поглощения более крупными карбидами более мелких при последующем нагреве. Нужно максимально возможно повышать температуру закалки в масле до 1150 °С и отпуска до 625–650 °С [4]. В качестве заключительной химико-термической обработки лучше применять карбонитрирование в обмазке при температуре 520 °С, так как это обеспечивает создание теплоустойчивой к последующим нагревам твердорастворной структуры, что является наиболее эффективным способом повыше-



Рис. 2. Нанесение обмазки на рабочую часть всех пуансонов пресс-формы для корпуса мясорубки при проведении операции карбонитрирования

Таблица 1. Повышение стойкости двухместной пресс-формы за счет проведения операции карбонитрирования рабочих поверхностей всех пуансонов

№ п.п.	Состав обмазки для карбонитрирования при температуре 520 °С в течение 4 ч после полировки рабочих поверхностей пуансонов при плановом ремонте пресс-формы	Количество деталей, изготовленных после ремонта двухместной пресс-формы, шт.
1	Карбонитрирование не проводилось	800–1000
2	Железистосинеродистый калий – 50%, оксид кремния – 33%, натрий хлористый – 12%, гипс – 5%; слой обмазки толщиной – 12 мм	4000
3	Железистосинеродистый калий – 50%, оксид кремния – 40%, натрий хлористый – 5%, стронций фтористый – 5%; слой – 16 мм	8000
4	Железистосинеродистый калий – 55%, оксид кремния – 27%, натрий хлористый – 7%, стронций фтористый – 6%, гипс – 5%; слой – 20 мм [6]	11000

Проведенных манипуляций оказалось достаточно, чтобы повысить стойкость пресс-форм после ремонта в несколько раз (табл. 1). Наиболее производительным оказался состав обмазки, содержащий в качестве компонентов железистосинеродистый калий – 55%, оксид кремния – 27%, натрий хлористый – 7%, стронций фтористый – 6%, гипс – 5%. Исходя из этих полученных результатов, в дальнейшем и производили подбор нового оптимизированного количественного состава обмазки для обеспечения стойкости пресс-форм литья изделий из алюминиевых сплавов для сталей типа 4Х5МФС за счет карбонитрирования.

Таблица 2. Оптимизированный состав обмазки для карбонитрирования

Номер состава	Состав обмазки для диффузионного карбонитрирования для режима нагрева при температуре 520 °С и различное время проведения нагрева в печи при нанесении на рабочие поверхности слоя водной суспензии из неё толщиной 20 мм для образцов стали 4Х5МФС	Характеристики диффузионного слоя		
		глубина, мм	микротвердость, ГПа	
			основного слоя	переходного слоя
1	Калий железистосинеродистый – 60%, оксид кремния – 23%, натрий хлористый – 5%, стронций фтористый – 7%, гипс – 5%; время – 4 ч	0,10	11,5	8,2
2	Калий железистосинеродистый – 55%, оксид кремния – 28%, натрий хлористый – 7%, стронций фтористый – 6%, гипс – 4%; время – 6 ч	0,12	12,0	8,3
3	Калий железистосинеродистый – 50%, оксид кремния – 36%, натрий хлористый – 6%, стронций фтористый – 5%, гипс – 3%; время – 8 ч	0,13	10,0	8,1

В табл. 2 приведены результаты апробирования нового количественного состава обмазки для диффузионного карбонитрирования изделий из стали сложного химического состава типа 4Х5МФС при фиксированном температурном режиме и толщине слоя смеси. В данном случае переменными величинами были именно количественный состав обмазки и время проведения процесса. Из таблицы видно, что выбранный количественный состав обмазки и время нагрева при температуре в электропечи 520 °С в течение 4–8 ч должны обеспечивать повышение стойкости рабочей поверхности матриц и пуансонов из этой сложнолегированной инструментальной стали за счет образования поверхностного диффузионного слоя толщиной 0,1–0,13 мм с микротвердостью на поверхности 10–12 ГПа и в переходном слое 8,1–8,3 ГПа.

Изначально планировалось обеспечить необходимое качество диффузионного упрочнения поверхности пуансонов и матриц пресс-форм для литья алюминиевых сплавов. Это удалось выполнить с помощью нового состава обмазки, приготавливаемой на водной основе: калий железистосинеродистый – 50–60%, оксид кремния – 23–36, натрий хлористый – 6–7, стронций фтористый – 6–7 и гипс – 3–5%. Введение фтористого стронция и гипса и увеличение содержания калия железистосинеродистого повышают диффузионную способность обмазки. Взаимодействие компонентов слоя обмазки толщиной 20 мм при температуре насыщения приводит к образованию в ее составе «каркаса», который не позволяет растекаться обмазке по упрочняемой поверхности. Гипс способствует получению коллоидной составляющей в обмазке и обеспечивает ее более плотное прилегание к упрочняемой поверхности при нанесении и совместно с другими компонентами образованию газонепроницаемой корочки на поверхности слоя обмазки при нагреве в воздушной среде. Введение в состав обмазки 50–60% калия железистосинеродистого способствует образованию необходимого количества атомарного азота и углерода и совместно с фтористым стронцием, хлористым натрием и гипсом также обеспечивает протекание всего процесса диффузионного насыщения в течение 4–8 ч.

Новый состав обмазки в разных сочетаниях использовали на ОАО «КЗТШ» (г. Жодино) при изготовлении рабочих частей штампов из стали 4Х5МФС на общую сумму около 18 тыс. руб. На ОАО «Амкор-Белвар» проведено восстановление свойств рабочих поверхностей ранее наиболее нагруженных пуансонов пресс-форм литья изделий из алюминиевых сплавов, что позволило дополнительно отлить

продукции в количестве 23 тыс. шт. на общую сумму 1275 руб. только при учете изготовления деталей по операции литья для корпуса большой электромасорубки.

Таким образом, были разработаны и опробованы новый состав обмазки и схема ее нанесения для диффузионного насыщения поверхности стальных изделий при карбонитровании. Состав обмазки может быть использован при проведении упрочнения поверхности деталей из сложнолегированных инструментальных сталей для рабочих частей пресс-форм и штампов горячего и холодного (для деталей из стали типа 5Х5Н2МФС) формообразования в целях придания ей более высокой твердости и теплостойкости по сравнению с сердцевинной. В результате диффузионного насыщения полированной поверхности одновременно азотом и углеродом образуется более твердый поверхностный слой, что не способствует появлению дополнительного количества границ новых зерен во время эксплуатации. Известно, чем меньше протяженность границ зерен, выходящих на поверхность, тем меньше вероятность появления разгарных трещин.

### Выводы

1. Значительный положительный эффект связан с применением нового состава обмазки и увеличением толщины наносимого слоя на упрочняемые рабочие поверхности технологической оснастки до 20 мм.
2. Введение в состав порошкообразного гипса позволяет улучшить прилипание водной суспензии обмазки к стальной поверхности при ее нанесении и способствует образованию на поверхности разогретой обмазки плотной корочки, препятствующей выделению газовой фазы из зоны реакции во время нагрева в печи при 520 °С в течение от 4 до 8 ч.
3. Введение в состав фтористого стронция и одновременное увеличение содержания калия железистосинеродистого до 50–60% повышают диффузионную способность обмазки.
4. Для всех известных марок стали типа 4Х5МФС и других легированных хромом, молибденом, ванадием и вольфрамом инструментальных сталей должно применяться поверхностное упрочнение инструмента с использованием технологического процесса карбонитрования в обмазке, что является способом замедления возникновения разгарных трещин и повышения ресурса работы пресс-форм литья изделий из алюминиевых сплавов и штампов горячего и даже холодного формообразования.
5. Применение обмазки нового состава и нанесения слоя толщиной до 20 мм при проведении процесса диффузионного упрочнения с температурой нагрева 520 °С в течение 4–8 ч обеспечит повышение ресурса работы упрочняемых деталей инструмента в 1,5–2,0 раза.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Геллер Ю. А. Инструментальные стали / Ю. А. Геллер. 5-е изд. М.: Металлургия, 1983. С. 19.
2. Федулов В. Н. Пути повышения стойкости высоконагруженного инструмента горячей высадки головок болтов / В. Н. Федулов // Литье и металлургия. 2016. № 1. С. 120–129.
3. Федулов В. Н. Влияние условий охлаждения и размера заготовки при литье инструментальной стали на способность к последующему термическому упрочнению поверхности / В. Н. Федулов // Литье и металлургия. 2016. № 3. С. 117–127.
4. Федулов В. Н. Оптимизация температурного режима закалки для повышения теплостойкости инструментальной стали 4Х5МФ1С в различных заготовках. Ч. 2. Выбор режима закалки стали 4Х5МФ1С для повышения твердости и теплостойкости после отпуска / В. Н. Федулов // Литье и металлургия. 2017. № 3. С. 70–77.
5. Федулов В. Н. Повышение стойкости пресс-форм для литья алюминиевых сплавов в процессе эксплуатации / В. Н. Федулов. Республ. межв. сб. науч. тр. «Металлургия». 2013. Вып. 34. Ч. 1. С. 180–187.
6. Обмазка для диффузионного карбонитрования стальных изделий. – Заявка на изобретение РБ, №а 20160204 от 03.06. 2016 г. / В. Н. Федулов. Заявитель – БНТУ. 6 с.

### REFERENCES

1. Geller Ju. A. *Instrumental'nye stali* [Tool steels]. Moscow, Metallurgija Publ., 1983, p. 19.
2. Fedulov V. N. Puti povysheniya stojkosti vysokonagruzhennogo instrumenta gorjachej vysadki golovok boltov [Ways to increase the durability of a high-loaded tool for hot disembarkation of bolt heads]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2016, no. 1, pp. 120–129.
3. Fedulov V. N. Vlijanie uslovij ohlazhdenija i razmera zagotovki pri lit'e instrumental'noj stali na sposobnost' k posledujushhemu termicheskomu uprochneniju poverhnosti [Influence of the cooling conditions and the size of the workpiece upon casting of tool steel on the ability to subsequently harden the surface]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2016, no. 3, pp. 117–127.
4. Fedulov V. N. Optimizacija temperaturnogo rezhima zakalki dlja povysheniya teplostojkosti instrumental'noj stali 4H5MF1S v razlichnyh zagotvokah. Chašt' 2. Vybora rezhima zakalki stali 4H5MF1S dlja povysheniya tverdości i teplostojkosti posle otpuska [Optimization of the temperature regime of quenching for increasing the heat resistance of 4X5MФ1С tool steel in various blanks. Part 2. Choosing the quenching regime for 4X5MФ1С steel to increase hardness and heat resistance after tempering]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2017, no. 3, pp. 70–77.
5. Fedulov V. N. Povyshenie stojkosti press-form dlja lit'ja aljuminievych splavov v processe jekspluatcii [Increasing the durability of molds for casting aluminum alloys during operation]. Rеспublikanskij mezhhvedomstvennyj sbornik nauchnyh trudov «Metallurgija» [The Republican interdepartmental collection of scientific works «Metallurgy»]. 2013, Vol. 34, pp. 180–187.