

УДК 621.777.01

Минков К. А.
Минков А. Н.
Мартынов С. В.
Калинов А. М.

МОБИЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕГУЛИРУЕМОЙ ВОДО-ВОЗДУШНОЙ ЗАКАЛКИ КУЗНЕЧНОЙ ОСНАСТКИ

Проблема повышения эксплуатационной стойкости крупных штампов для горячего деформирования является одной из актуальных в современном машиностроении. Это обусловлено их высокой стоимостью и трудоемкостью изготовления.

К числу наиболее распространенных сталей, используемых для изготовления штампов, относятся теплостойкие легированные инструментальные стали марок 5ХНМ и 4Х5МФС. Эти стали должны удовлетворять следующим характеристикам: твердость HRC 40...45, KCU = 30...45 Дж/см², что достигается получением структуры троосто-сорбита, упрочненной карбидами с карбидной неоднородностью не более 4 балла по шкале 5 ГОСТ 801 [1, 2]. Для достижения требуемых характеристик выполняется закалка с последующим отпуском [1, 3–5]. Наиболее сложной задачей является выбор охлаждающих сред при закалке, так как при охлаждении штампов требуется создание температурных полей, отличающихся как для разных температурных интервалов в процессе охлаждения, так и для различных частей штампов [1, 6].

При закалке штампов в качестве охлаждающей среды обычно используется масло. Несмотря на широкое применение, закалка в масло имеет значительные недостатки: недостаточная охлаждающая способность в интервале температур перлитного превращения, высокая стоимость. Возникающие в объеме изделия значительные температурные и структурные градиенты приводят к появлению остаточных напряжений и деформаций. Использование масла связано с высокой пожароопасностью, загазованностью помещений и т. д. Наносится существенный вред экологии [3]. Кроме этого, следует учитывать высокую стоимость масла, необходимость его регенерации и последующей утилизации.

В настоящее время для охлаждения крупногабаритных деталей все большее распространение приобретают водно-воздушные охладительные установки [4–8]. Конструкция и параметры устройства водо-воздушного охлаждения позволяют осуществить обработку по стандартной технологии закалки с отпуском с интенсивностью охлаждения как в существующих закалочных средах (масло, вода), так и реализовать новые, высокоэффективные технологии, такие как:

– закалка с регулируемым охлаждением. Такая технология обеспечит существенно более высокий уровень механических и служебных характеристик при более низком уровне как текущих, так и остаточных напряжений.

– закалка с самоотпуском. Применение такой технологии позволяет исключить необходимость проведения операции отпуска деталей после закалки. При проведении закалки с самоотпуском достигается более высокий по сравнению с существующими технологиями уровень механических свойств [9, 10].

Целью работы является анализ существующих технологий упрочнения штамповой оснастки с целью ее усовершенствования, а также разработки и внедрения оборудования для ее реализации.

Использование водо-воздушного охлаждения позволяет получить широкий диапазон скоростей охлаждения как выше достигаемых при закалке в водяных баках, так и значительно ниже тех, которые достигаются при использовании масляных баков. Охлаждающая способность водо-воздушной смеси зависит главным образом от соотношения давления воды

и воздуха, в зависимости от которого для определенной конструкции форсунки могут быть два состава предельных смесей. Первый состав: расход воды такой, при котором давление воздуха не распыляет воду до частиц размером меньше критической величины. В этом случае частицы воды не успевают полностью испариться, отвод пара затруднен и вследствие этого охлаждающая способность смеси снижается. Второй состав: расход воды незначителен, и давление воздуха настолько увеличивает кинетическую энергию частиц воды, что приводит [11] к сокращению времени контакта частиц воды с раскаленной поверхностью. Соответственно, охлаждающая способность водо-воздушной смеси также снижается. Таким образом, правильным подбором соотношения давления воды и воздуха можно обеспечить требуемый режим охлаждения изделий.

Водно-воздушная установка, которая эксплуатируется в термическом цехе штампового производства Минского автозавода с 1996 г, позволяет обрабатывать штампы размером от $100 \times 100 \times 100$ мм до $1500 \times 1000 \times 1000$ мм и массой до 8000 кг. Габариты установки $6200 \times 2000 \times 3500$ мм, а размеры рабочей зоны $2500 \times 2000 \times 2500$ мм. Охлаждение гравюры и хвостовика штампа ведется с различными скоростями, которые обеспечивают заданную твердость в двух зонах. Время закалочного охлаждения 1 штампа от 2 до 20 мин в зависимости от размеров. Стоимость закалочной установки от 30 до 70 тыс. долларов США в зависимости от размеров обрабатываемых штампов [9, 10].

Еще одна установка описана в работе [12] и предназначена для регулируемой водо-воздушной закалки изделий с вертикальной осью вращения. Такие изделия используются в качестве рабочего инструмента размольных устройств. Орошение поверхности водо-воздушной смесью ведется при помощи двухфазных форсунок, к которым осуществлен подвод воды и воздуха, и в которых эта смесь подготавливается. Форсунки установлены в 4-х вертикальных стойках в несколько рядов по высоте. Регулировка давления воды и воздуха осуществляется при помощи специальных кранов вручную. Установка имеет поворотную платформу, использование которой обеспечивает хорошую равномерность орошения поверхности в процессе закалки.

Необходимо отметить, что внедрение таких установок, принимая во внимание их достаточно высокую стоимость, рентабельно лишь при серийном изготовлении. Поэтому главной задачей является разработка мобильного сборно-разборного стенда, не требующего постоянных площадей. Такая установка позволяет в определенных случаях отказаться от строительства дорогостоящих стационарных установок.

В работе [13] описана мобильная установка для водо-воздушного охлаждения крупногабаритных штампов. Поставленная задача решается за счет того, что стенд оснащен двумя трубчатыми конструкциями сферической формы, какие раздвигаются при загрузке штампа и сдвигаются при его охлаждении и предназначены для подачи воды и воздуха, а также для крепления установочных блоков системы водо-воздушного охлаждения.

Используя опыт, полученный при создании вышеописанных устройств, было принято решение пойти дальше в усовершенствовании процесса регулируемой водо-воздушной закалки, а именно, используя концепцию мобильной закалочной установки, усовершенствовать ее, разработать и внедрить технологию регулируемого водо-воздушного охлаждения с использованием специального компьютерного обеспечения. Этот фактор, а также наличие несущего каркаса и защитного кожуха, является принципиальным отличительным признаком от установки [13].

Для реализации поставленной задачи были выбраны производственные площади и мощности ПАО «Русполимет», г. Кулебаки, Нижегородской области. Разработка специального программного обеспечения велась специалистами Нижегородского Государственного технического университета им. Р. А. Алексеева.

Сборно-разборный стенд для водо-воздушной закалки штампов (рис. 1) и других элементов оснастки, собранных в садку на специальных поддонах, размещается на опорной раме (1), изготовленной из швеллеров, и устанавливается в поддоне, предназначенном для сбора отработанной воды. Одним из элементов опорной рамы являются направляющие рельсы,

на которых установлены две половины несущей конструкции 3 цилиндрической формы. Каждая из конструкций передвигается на трех роликах по направляющим рельсам одна навстречу другой и имеет отдельные системы подводящих труб для контура воды 6 и контура воздуха 5. На трубах размещены установочные блоки 2 для водо-воздушных форсунок.

СТЕНД ДЛЯ ВОДО-ВОЗДУШНОЙ ЗАКАЛКИ

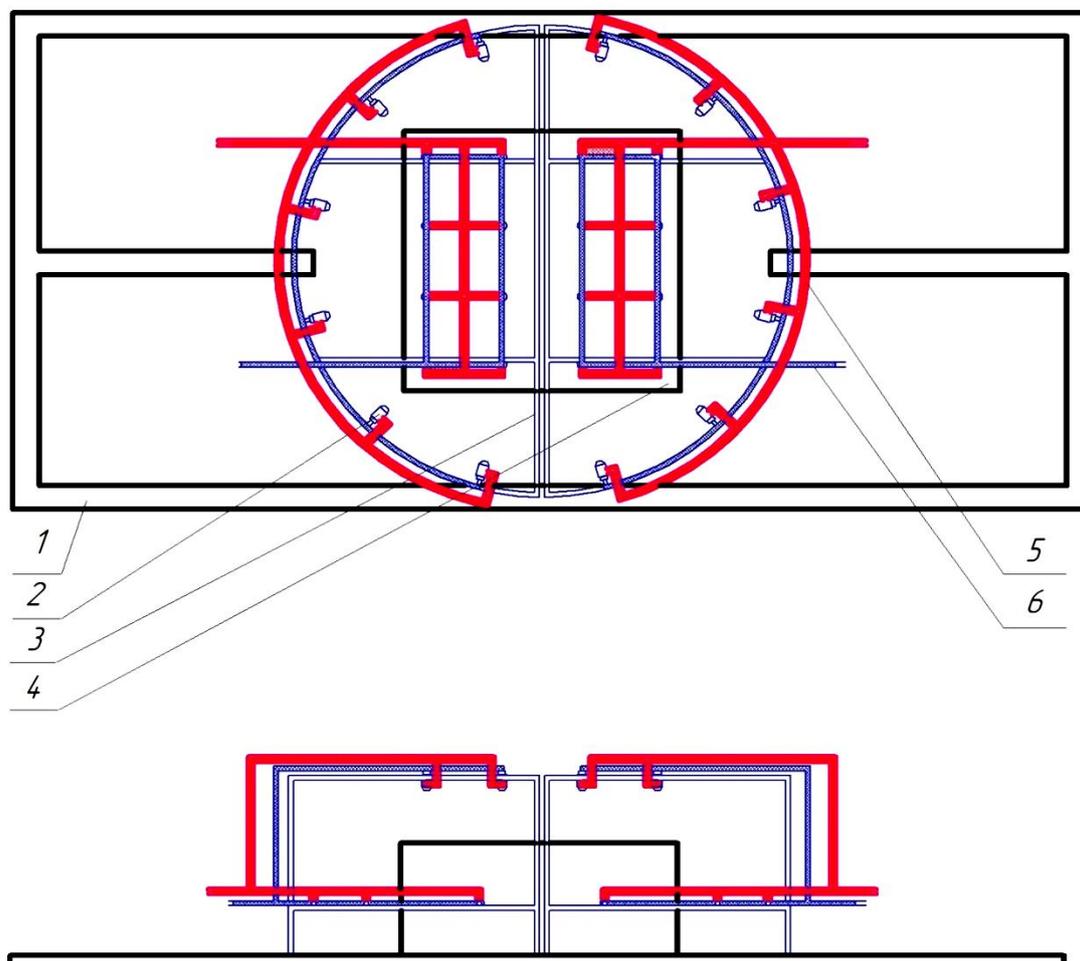


Рис. 1. Стенд для водо-воздушной закалки штампов

Нагретый штамп 4 после выгрузки из печи устанавливается на каркас несущего поддона. Далее обе трубчатые конструкции стенда сдвигаются по направляющим рельсам одна к другой, образуя закрытый сверху цилиндр, в центре которого расположен закаливаемый штамп. Охлаждение штампа осуществляется с помощью водо-воздушных форсунок, размещенных на несущей конструкции, к которым по отдельным трубам подведены вода и воздух. Изнутри установка обшита защитным экраном из листовой нержавеющей стали, выполняющим функцию защиты электроприборов и электропроводки стенда от высоких температур, а также функцию пароуловителя. Всего в конструкции задействовано 28 форсунок, разделенных на 2 дискретно управляемых контура: верхний (16 форсунок) и нижний (12 форсунок). Плюс к этому 4 форсунки нижнего контура, расположенные напротив ребер штампа, имеют запорные клапаны, перекрывающие подачу воды к ним в нужное время. Выбор такого количества форсунок в верхний контур обусловлено достаточным перекрытием их факелов, обеспечивающее равномерное орошение рабочей поверхности штампа. Регулировка интенсивности охлаждения производится при помощи специального программного обеспечения по заданной заранее программе с возможностью изменения скорости охлаждения непосредственно в процессе закалки. Возможность изменения плотности орошения нижнего контура дает

возможность реализации градиентной по высоте закалки, обеспечивающей хорошее распределение остаточных напряжений по сечению штампа. Контроль температуры поверхности металла в процессе охлаждения ведется при помощи стационарного тепловизора, подключенного к компьютеру для фиксации изменения состояния температуры в процессе охлаждения. Также в процессе охлаждения происходит он-лайн фиксация давления воды и воздуха на входе в контуры.

Использование специальной оснастки дает возможность закаливать в установке и другие элементы оснастки, используемые в кольцепрокатном производстве: дорн-валы, наконечники прошивной, небольшие бандажи и др.

На эскизах намеренно не указаны габаритные размеры установки. Это сделано с той целью, чтобы показать, что данную установку можно привязать как к конкретной печи с ограничениями по размеру рабочего пространства, так и к конкретной номенклатуре закаливаемых изделий

В качестве основного охладителя при регулируемой закалке деталей в водно-воздушных установках используется распыленная вода, охлаждающая способность которой зависит главным образом от ее удельного расхода, определяемого конструкцией форсунки, давлением воды на ее входе и расстоянием между форсункой и охлаждаемой поверхностью. Для комплектации разработанной установки первоначально использовали центробежную форсунку, формирующую распыленную воду в виде конусообразного полного факела. Конструкция форсунки включает корпус и вкладыш с центральным осевым отверстием и нарезанными по его внешней цилиндрической поверхности винтовыми каналами и позволяет использовать в качестве охладителя также и только распыленную воду.

Для расширения технологических возможностей на базе указанной форсунки была разработана водо-воздушная форсунка [14], которая позволяет использовать в качестве охладителей распыленную воду, водо-воздушные смеси и сжатый воздух. Основными элементами форсунки являются внутреннее (1) и внешнее (2) сопла. Внутреннее сопло имеет форму цилиндра с выходной конической частью. На внешней поверхности цилиндрической части внутреннего сопла нарезаны винтовые каналы для прохода компрессорного воздуха (рис. 2). Во внутреннее сопло устанавливается цилиндрический вкладыш с выступающей конической частью, на выходе из которой образуется камера смешивания. На внешней цилиндрической поверхности вкладыша вырезаны винтовые каналы для прохода потока воды и его ускорения. По всей длине вкладыша просверлен центральный осевой канал переменного сечения, сужающийся в конической части.

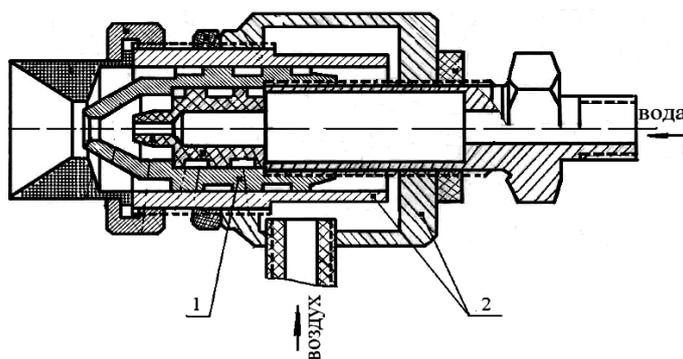


Рис. 2. Распылительная водо-воздушная форсунка

Вода подается во вкладыш внутреннего сопла и разделяется на два потока. Первый поток проходит по осевому каналу и ускоряется за счет уменьшения его проходного сечения в выступающей конической части. Второй поток проходит по винтовым каналам, нарезанным на внешней цилиндрической поверхности вкладыша, ускоряется и взаимодействует с первым потоком в камере смешивания. При этом происходит интенсивное дробление водяного потока.

Дальнейшее измельчение капель воды происходит при встрече водяного потока с потоком компрессорного воздуха, который поступаая в форсунку, проходит по винтовым каналам на внешней поверхности внутреннего сопла и ускоряется. На выходе из диффузора этот поток взаимодействует с водяным потоком, в результате чего образуется дисперсная водо-воздушная смесь.

Для разработки технологии регулируемого охлаждения необходимы данные, характеризующие качество распыления воды применяемой форсункой. Были определены основные технологические характеристики, а именно, удельный расход воды и диаметр факела в зависимости от давления воды и воздуха, а также от расстояния между форсункой и охлаждаемой поверхностью. Исследования проводили на специально разработанном стенде [15], позволяющем определять удельный расход распыленной воды в любой точке факела, создаваемого форсункой. Кроме того опытным путем были получены оптимальные для штамповой стали значения коэффициента теплоотдачи, необходимые для разработки и корректировки интенсивности охлаждения в процессе закалки.

ВЫВОДЫ

Разработана и изготовлена мобильная водо-воздушная установка для регулируемой закалки штампов и элементов оснастки размером до $1000 \times 1000 \times 700$ мм и массой до 4000 кг.

Охлаждение гравюры и хвостовика штампа или дорн-вала ведется с различными скоростями. Это обеспечивает заданную дифференцированную твердость в различных частях штампа.

Применение регулируемого охлаждения дает возможность проводить закалку элементов оснастки, обеспечивающую приемлемые остаточные напряжения, дифференцированную твердость и структуру по высоте штампа.

Представленная конструкция отличается сравнительной простотой изготовления и управления, а также возможностью быстрого демонтажа и переноса в другое место.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астафьев А. А. Регулируемая закалка: спрейерное и водо-воздушное охлаждение / А. А. Астафьев, Л. М. Левитан // *Металловедение и термическая обработка металлов.* – 1999. – № 2. – С. 9–12.
2. Закалка крупных поковок в водо-воздушной смеси / Пыиминцев И. Ю., Эйсмонт Ю. Г., Юдин Ю. В., Шабуров Д. В., Захаров В. Б. // *Металловедение и термическая обработка металлов.* – 2003. – № 3. – С. 24–28.
3. Гольдштейн М. И. Специальные стали : учебник для вузов / М. И. Гольдштейн, С. В. Грачев, Ю. Г. Векслер. – Москва : Металлургия, 1985. – 408 с.
4. Выбор условий охлаждения при закалке крупных поковок в охлаждающих установках / Минков А. Н., Борисов И. А., Шейко В. С., Камалов В. З., Алексеенко В. С. // *Металловедение и термическая обработка металлов.* – 1985. – № 6. – С. 50–52.
5. Борисов И. А. Регулируемая закалка крупных изделий в водо-воздушных охлаждающих установках / И. А. Борисов, А. Н. Минков, В. С. Шейко // *Металловедение и термическая обработка металлов.* – 1990. – № 2. – С. 2–4. – ISSN 0026-0819.
6. Околович Г. А. Штамповые стали для холодного деформирования металлов : монография / Г. А. Околович // *Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова.* – Изд. 2-е, перераб., доп. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2010. – 202 с.
7. Шрайдер А. В. Новые технологические возможности производства прокатных валков марки НКМЗ / А. В. Шрайдер, А. А. Дардесов, С. Н. Мотов // *Сталь.* – 2014. – № 12. – С. 72–73.
8. Борисов И. А. Технология водно-воздушного охлаждения при термической обработке крупногабаритных деталей / И. А. Борисов, Л. Ф. Голанд, И. Г. Жигалкин // *Металловедение и термическая обработка металлов.* – 1996. – № 12. – С. 2–5.
9. Ресурсосберегающий технологический процесс термической обработки крупногабаритных штампов / Л. А. Глазков, М. С. Желудкевич, Д. Л. Жилинин и др. // *Вестник БНТУ.* – 2009. – № 3. – С. 31–35.
10. Установка для закалки крупногабаритных штампов водовоздушной смесью / Глазков Л. А., Желудкевич М. С., Жилинин Д. Л. и др. // *Вестник БНТУ.* – 2009. – № 3. – С. 35–38.
11. Майсурадзе М. В. Характеристики водокапельных форсунок центробежно-струйного типа, используемых для закалки сталей / М. В. Майсурадзе, Ю. В. Юдин // *Изв. вузов. Черная металлургия.* – 2008. – № 8. – С. 45–48.
12. Минков А. Н. Закалочное оборудование для водовоздушного регулируемого охлаждения массивных цилиндрических деталей с вертикальной осью вращения / А. Н. Минков, К. А. Минков // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2012. – № 5. – С. 79–81.

13. Пат. 74154 Украина, C21D 1/06. Стенд для водно-повітряного гартування крупних штампів для гарячого деформування / Мінков О. М., Мінков К. О., Дема М. І. – № 201201476 ; заявл.13.02.12 ; опубл. 25.10.12, Бюл. № 20.

14. Пат. 55893 Украина, C21 D1/62. Пристрій для водно-повітряного охолодження виробів / Мінков О. М., Мінков К. О., Дема М. І. – № 201008213 ; заявл.01.07.10 ; опубл. 27.12.10, Бюл. № 24.

15. Пат. 51923 Украина, B05 B12/08. Стенд для випробувань водно-повітряних форсунок / Мінков О. М., Мінков К. О., Дема М. І. – № 20100421 ; заявл.18.01.10 ; опубл. 10.08.10, Бюл. № 15.

REFERENCES

1. Astaf'ev A. A. Reguliruemaja zakalka: sprejernoje i vodo-vozdushnoje ohlazhdenie / A. A. Astaf'ev, L. M. Levitan // *Metallovedenie i termicheskaja obrabotka metallov.* – 1999. – № 2. – S. 9–12.

2. Zakalka krupnyh pokovok v vodo-vozdushnoj smesi / Pyshmincev I. Ju., Jejsmond Ju. G., Judin Ju. V., Shaburov D. V., Zaharov V. B. // *Metallovedenie i termicheskaja obrabotka metallov.* – 2003. – № 3. – S. 24–28.

3. Gol'dshtejn M. I. Special'nye stali : uchebnik dlja vuzov / M. I. Gol'dshtejn, S. V. Grachev, Ju. G. Veksler. – Moskva : Metallurgija, 1985. – 408 s.

4. Vybor uslovij ohlazhdenija pri zakalke krupnyh pokovok v ohladitel'nyh ustanovkah / Minkov A. N., Borisov I. A., Shejko V. S., Kamalov V. Z., Alekseenko V. S. // *Metallovedenie i termicheskaja obrabotka metallov.* – 1985. – № 6. – S. 50–52.

5. Borisov I. A. Reguliruemaja zakalka krupnyh izdelij v vodo-vozdushnyh ohladitel'nyh ustanovkah / I. A. Borisov, A. N. Minkov, V. S. Shejko // *Metallovedenie i termicheskaja obrabotka metallov.* – 1990. – № 2. – S. 2–4. – ISSN 0026-0819.

6. Okolovich G. A. Shtampovye stali dlja holodnogo deformirovanija metallov : monografija / G. A. Okolovich // *Altajskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet im. I. I. Polzunova.* – Izd. 2-e, pere-rab., dop. – Barnaul : Izd-vo AltGTU, 2010. – 202 s.

7. Shrajder A. V. Novye tehnologičeskie vozmožnosti proizvodstva prokatnyh valkov marki NKMZ / A. V. Shrajder, A. A. Dardesov, S. N. Motov // *Stal'.* – 2014. – № 12. – S. 72–73.

8. Borisov I. A. Tehnologija vodno-vozdushnogo ohlazhdenija pri termičeskoj obrabotke krupnogabaritnyh detalej / I. A. Borisov, L. F. Goland, I. G. Zhigalkin // *Metallovedenie i termicheskaja obrabotka metallov.* – 1996. – № 12. – S. 2–5.

9. Resursosberegajushhij tehnologičeskij process termičeskoj obrabotki krupnogabaritnyh shtampov / L. A. Glazkov, M. S. Zheludkevich, D. L. Zhiljanin i dr. // *Vestnik BNTU.* – 2009. – № 3. – S. 31–35.

10. Ustanovka dlja zakalki krupnogabaritnyh shtampov vodovozdushnoj smes'ju / Glazkov L. A., Zheludkevich M. S., Zhiljanin D. L. i dr. // *Vestnik BNTU.* – 2009. – № 3. – S. 35–38.

11. Majsuradze M. V. Harakteristiki vodokapel'nyh forsunok centrobezhno-strujnogo tipa, ispol'zuemyh dlja zakalki stalej / M. V. Majsuradze, Ju. V. Judin // *Izv. vuzov. Chernaja Metallurgija.* – 2008. – № 8. – S. 45–48.

12. Minkov A. N. Zakalochnoje oborudovanie dlja vodovozdushnogo reguliruemogo ohlazhdenija massivnyh cilindričeskih detalej s vertikal'noj os'ju vrashhenija / A. N. Minkov, K. A. Minkov // *Metallurgičeskaja i gornorudnaja promyšlennost'.* – 2012. – № 5. – S. 79–81.

13. Пат. 74154 Украина, C21D 1/06. Стенд для водно-повітряного гартування крупних штампів для гарячого деформування / Мінков О. М., Мінков К. О., Дема М. І. – № 201201476 ; заявл.13.02.12 ; опубл. 25.10.12, Бюл. № 20.

14. Пат. 55893 Украина, S21 D1/62. Пристрій для водно-повітряного охолодження виробів / Мінков О. М., Мінков К. О., Дема М. І. – № 201008213 ; заявл.01.07.10 ; опубл. 27.12.10, Бюл. № 24.

15. Пат. 51923 Украина, B05 B12/08. Стенд для випробувань водно-повітряних форсунок / Мінков О. М., Мінков К. О., Дема М. І. – № 20100421 ; заявл.18.01.10 ; опубл. 10.08.10, Бюл. № 15.

Мінков К. А. – вед. інж. отдела главного термиста ПАО «Русполимет»;

Мінков А. Н. – канд. техн. наук, доц.;

Мартынов С. В. – канд. техн. наук, нач. отдела кузнеч. и прокат. произв. ПАО «Русполимет»;

Калинов А. М. – вед. інж. отдела кузнеч. и прокат. произв. ПАО «Русполимет».

ПАО «Русполимет» – Публичное акционерное общество «Русполимет», г. Кулебаки, РФ.

E-mail: km1969.69@gmail.com

Статья поступила в редакцию 11.03.2019 г.