

5. Щербаков, В.Г. Оценка влияния режимов оплавления на структурообразование в диффузионно-легированных сплавах для индукционной наплавки / В.Г. Щербаков // *Металлургия: Республиканский межведомственный сборник научных трудов.* – Минск: БНТУ, 2017. – Вып. 38 – С. 178–187.

6. Константинов, В.М. Комплексное обеспечение долговечности корпуса почвообрабатывающего плуга поверхностным и объемным упрочнением быстроизнашиваемых деталей // *Перспективные материалы и технологии / В.М. Константинов, Г.А. Ткаченко, В.Г. Щербаков; НАН Беларуси, УО «ВГТУ»;* под общ. ред. В.В. Клубовича. – Витебск, 2017. – Гл. 17. – С. 324–341.

7. Вращающаяся электрическая печь для химико-термической обработки сыпучего материала: пат. ВУ 15412 / В.М. Константинов, О.П. Штемпель, В.Г. Щербаков. – Оpubл. 28.02.12.

8. Константинов, В.М. Многофункциональная научно-исследовательская установка индукционного нагрева сталей и сплавов / В.М. Константинов и [др.] // *Металлургия: Республиканский межведомственный сборник научных трудов.* – Минск: БНТУ, 2015. – Вып. 36 – С. 255–262.

9. Установка для обработки металлического порошка: пат. ВУ 10051 / В.М. Константинов, В.Г. Дашкевич, В.Г. Щербаков. – Оpubл. 30.04.2014.

УДК 621.785.68

### **Ресурсосберегающий технологический процесс термической обработки крупногабаритных штампов**

Студент гр.10405514 Пацеко Е.К., гр. 10401116 Моисеева А.Ю.

Научный руководитель – Вейник В.А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Для изготовления крупногабаритных штампов применяются заготовки из сталей 5ХНМ, 5ХНВ. Они закаливаются на мартенситную структуру при охлаждении в масле и горячих средах. Оптимальный температурный интервал под закалку для этих сталей составляет 850–880 °С. Получаемая твердость после закалки – 61–53 HRC для стали 5ХНВ и 62–63 HRC – для стали 5ХНМ при охлаждении в масле. В случае охлаждения стали 5ХНМ на воздухе твердость достигает 56-58 HRC. Величина зерна аустенита, получаемого в данном интервале температур, составляет 8–12 баллов.

Закончив нагрев, штампы закаливают в масле: погружают в бак, производят их покачивание, а затем оставляют висеть при включенной циркуляции масла.

Охлаждение в масле крупногабаритных штампов массой более 1 т не позволяет получить высокие твердость и прокаливаемость, а также требует большого расхода масла. Водовоздушная смесь позволяет устранить эти недостатки, поскольку возможно изменение охлаждающей способности в зависимости от размеров штампа.

Отпуск штампов производится сразу после закалки (разрыв во времени 0,5–2 ч). Наиболее часто применяют двухкратный отпуск: сначала отпускается штамп целиком для получения закалочной твердости гравюры, а затем в специальной печи происходит отпуск хвостовика.

Данный технологический процесс требует наличия газовой печи для закалки и отпуска, печи-плиты (щелевой печи) для отпуска хвостовика и масляной ванны с системами перемешивания и отвода паров. Время термической обработки одного штампа составляет 63,5–85,0 ч в зависимости от размера закаливаемого штампа.

Проведенные в НИИЛ «Гидропневмосистем и нефтепродуктов» БНТУ в рамках ГНТП «Ресурсосбережение» исследования показали, что водовоздушная смесь в качестве закалоч-

ной среды обладает неоспоримыми преимуществами перед минеральным маслом. Так, образцы из штамповых сталей, термообработанные с помощью водовоздушной смеси, имели структуру, аналогичную закалке в минеральном масле. А также за счет варьирования в процессе охлаждения направления и количества струй смеси можно достигнуть регулируемого процесса охлаждения, т.е. охлаждать различные поверхности (стороны) деталей с различной скоростью, что позволяет отказаться от некоторых операций – отпуска хвостовика, а во многих случаях и отпуска штампа в целом.

Технологический процесс с применением водовоздушной смеси состоит из следующих операций: нагрева (аналогично базовому техпроцессу), закалки в водовоздушной смеси на специальной установке, выравнивания температур.

Преимуществом приведенного технологического процесса является отсутствие операций отпуска штампа и отпуска хвостовика штампа. Удаление этих операций позволяет уменьшить время проведения технологического процесса практически вдвое: с 63,5–85,0 до 31,5–41,5 ч. Также это позволяет отказаться от печи-плиты, а время работы основной печи с выдвижным подом также значительно сокращается, что дает значительную экономию природного газа (порядка 290 м<sup>3</sup> на каждом штампе массой 1,5 т). Еще одним положительным эффектом является отсутствие необходимости в минеральном масле в процессе закалки, а также устранение ванны для закалки, что в свою очередь также дает значительную экономию. Дополнительным экономическим эффектом является увеличение пожаробезопасности процесса: исключается вероятность воспламенения масла при ошибке персонала во время извлечения штампа. Не требуется вытяжная вентиляция, что помогает сэкономить на электроэнергии более, чем 10 кВт·ч на один штамп.

Время окупаемости данного технологического процесса вместе с установкой составляет 1,5–2 года в зависимости от напряженности производственной программы.

УДК 620.16

### **Эффективность применения сульфидирования и фосфатирования для повышения стойкости стальных деталей трибосопряжений**

Студент гр. 10401116 Лешок В.А.

Научный руководитель – Ковальчук А.В.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Одним из наиболее перспективных и бурно развивающихся в настоящее время направлений повышения эффективности сопрягаемых деталей является инженерия поверхности с использованием поверхностной упрочняющей обработки. Основным объектом исследования является сопротивление процессу перемещения поверхностных слоев контактирующих тел, которое обуславливается силой трения. Эта сила возникает в трибосопряжении – двух функционально связанных деталях, например, вал-втулка, два зубчатых колеса, фрикционный диск и контртело и другие.

В связи с современными требованиями к уровню свойств стальных деталей пар трения в производственной сфере существует актуальная задача разработки технологии повышения стойкости фрикционных пар в гидромеханических коробках передач, охлаждаемых маслом тормозах и муфтах, где протекает изнашивание в условиях граничного трения (при наличии смазки трансмиссионным маслом). Условия работы данных трибосопряжений: давление на материал 4 МПа, скорость скольжения 10 м/с, рабочая температура поверхностей 80...90 °С. Материал фрикционного диска – металлокерамика МК-5, материал контртела – сталь 65Г [1]. При конструировании пары трения, в которую входит фрикционный диск и контртело, материал контртела должен иметь высокий коэффициент трения и низкую интенсивность изнашивания, а также быть наиболее выгодным по технико-экономическим показателям.