

рекомендовала ввести в учебные планы всех машиностроительных специальностей курс «Инженерная триботехника».

Работы Д.Н. Гаркунова, его учеников и последователей неоднократно отмечались премиями Совета министров и Президента Российской Федерации.

В настоящее время отделение, руководимое Д.Н. Гаркуновым, насчитывает 27 всемирноизвестных учёных трибологов, каждый из которых разрабатывает своё научное направление в области безызностного трения.

Членами отделения безызносности за последнее десятилетие выпущено 12 монографий, свыше 150 статей, защищено 25 патентов на изобретение в области самоорганизующихся процессов в трибосопряжениях механизмов и машин.

По инициативе отделения проведены российские и международные конференции, по вопросам безызностного трения и водородного изнашивания металлов в 2007, 2009, 2010, 2011, 2012 (МГАУ им. Горячкина), 2012 (РОСНОУ, г. Орехово-Зуево).

Подготовлено свыше 200 докладов по вопросам дальнейшего изучения, а также использования открытий Д.Н. Гаркунова в промышленности, на транспорте и в сельском хозяйстве.

При МГТУ им. Н.Э. Баумана приказом ректора создан консультационный пункт по вопросам трибологии, который отвечает на все вопросы с мест, ведёт научные консультации, готовит научных работников, преподавателей для ВУЗов и предприятий.

Отделением совместно с рядом ВУЗов страны разработано 8 учебников и учебных пособий общим тиражом 30000 экземпляров.

С 2003 года при отделении на базе МГТУ им. Н.Э. Баумана создана лаборатория триботехники, которая оснащена четырьмя машинами трения. В лаборатории выполнены научно-исследовательские работы по оценке термостойкости и износостойкости смазочных материалов и композиций. Всего исследовано 252 смазочных материала на термостойкость, свыше 10 смазочно-охлаждающих жидкостей. Работы проводятся с привлечением студентов МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Заседания секции проводятся 1 - 2 раза в год, заслушиваются научные и практические разработки членов отделения, результаты внедрений патентов и открытий в области трибологии.

В 2013 году членами отделения (Гаркунов Д.Н., Бабель В.Г., Мельников Э.Л., Щедрин А.В., Суранов, Г.Н.) была подготовлена монография «Трибология на основе самоорганизации», которая в настоящее время находится в издательстве «Машиностроение» г. Москва.

Разработана методика проведения экспресс-анализа смазочных материалов на термостойкость № 01-13-ОД-2011, прорабатывается вопрос о присвоении ей статуса ГОСТа.

Также необходимо отметить функционирование международной школы по вопросам трибологии на основе самоорганизации в России, Германии, Польше, Литве, Болгарии, Казахстане, Украине, Монголии, насчитывающей около 70 трибологов, активно внедряющих в жизнь открытия отечественных учёных Гаркунова Д.Н., Крагельского И.В.

Литература

1. Триботехника (конструирование, изготовление и эксплуатация машин/ Гаркунов Д.Н.: изд. МСХА, 2002 с. 632.
2. Триботехника, Гаркунов Д.Н.: М. Изд. КноРус, 2011 – с. 408.

Разработка технологии повышения стойкости крупногабаритных матриц штампов

Серёжкин М.А., д.т.н. Мельников Э.Л.
МГТУ им. Н.Э. Баумана
8-916-378-89-52, pehobator@rambler.ru

Аннотация. Разработана технология повышения стойкости крупногабаритных матриц штампов. Определен максимум контактных нагрузок на вытяжном ребре

матрицы штампа. Проведены экспериментальные исследования износостойкости финишных антифрикционных безабразивных покрытий совместно с действием смазочных материалов.

Ключевые слова: холодная листовая штамповка днищ, оснастка, износ, стойкость штампов, покрытие, контактные нагрузки

Детали, изготовленные методами холодной листовой штамповки, нашли широкое применение в современном мире. Холодная листовая штамповка применяется для изготовления деталей из листового материала, это различные сферические и эллиптические днища, корпусные детали автомобилей, самолётов, вагонов, химического и нефтеперерабатывающего оборудования, электроприборов, а также товаров народного потребления (столовые приборы, и т.д.). Штамповочные способы обеспечивают необходимую точность изготовления деталей, высокую производительность и низкую себестоимость [4, 6, 7].

Днища, изготовленные холодной штамповкой, используются в пищевой, нефтехимической, газовой и атомной промышленности, а также для: аппаратов, работающих под давлением, сосудов, емкостей и других промышленных установок.

Днища изготавливают по ГОСТ 6533-78, а также по стандартам, принятым на предприятии в зависимости от отрасли. Днища изготавливают из различных материалов, таких как конструкционные стали (10, 20, 45 и т.д.), нержавеющей стали (12X18H9T, 15X18H12C4TЮ и т.д.), цветные металлы (АМг6М, ЛС59-1 и т.д.) [7].

Серьёзным недостатком технологии изготовления днищ является повышенный износ штамповой оснастки (таблица 1) [7].

Таблица 1

Стойкость матриц при штамповке жесткой матрицей

Материал заготовки	Стойкость, шт
Цветные сплавы	более 5000
Нержавеющие стали	более 3000
Высокопрочные стали	500

Вайнтрайбом Д.А. [1] был проведён анализ конструкции штампа и параметров технологического процесса с целью определения факторов, оказывающих наиболее существенное влияние на стойкость штамповой оснастки. Результаты этого исследования при ведены ниже.

Износ матрицы штампа и ухудшения качества изготовления происходит за счёт налипания частиц штампуемого материала на рабочие поверхности матрицы, вследствие чего на деталях остаются продольные борозды (царапины, риски). Налипание носит лавинный характер, т.е. с каждой следующей штамповкой всё большее количество металла детали остаётся на штампе.

Износ матрицы штампа являлся самым большим и оказывал наиболее существенное влияние на точность изготавливаемых деталей. Для сравнения, износ пуансона в среднем от 5 до 8 раз меньше, а износ прижимного кольца не оказывает существенного влияния на точность изготавливаемых деталей, кроме того легко ремонтируется способом перешлифовки под ремонтный размер.

Наиболее подходящий материал для штамповки: стали (условный коэффициент (УК) 0,5 ... 1), хуже латуни (УК 1,5), ещё хуже алюминий и дюралюминий (УК 2,2 ... 2,5). Скорость штамповки существенного влияния не оказывает. Хорошие результаты были достигнуты за счёт установки на месте вытяжного ребра матрицы роликов или износоустойчивых вставок, что позволяет снизить износ более чем на 50%.

Теоретические исследования, проведённые в [7] показали, что наиболее изнашивающимся участком штампа является вытяжное ребро матрицы штампа. Это согласуется с экспериментальными данными в работе [1].

Для определения контактных нагрузок запишем уравнения меридиональных и тангенциальных напряжений действующих в районе вытяжного ребра матрицы штампа.

Меридиональные $\sigma_{R,гр}$ и тангенциальные $\sigma_{Q,гр}$ напряжения [6]:

$$\sigma_{Rrp} = \sigma_{Scp} \left\{ L \cdot n \frac{R_n}{R_{cp}} + \frac{\eta \cdot v_{0(cp)}}{\sigma_{Scp}} \frac{[R_n^2 - (R_o + R_m)^2]}{R_n \cdot s_0 \cdot h} + \frac{\eta \cdot v_{0(cp)}}{\sigma_{Scp}} \frac{R_m^2}{h(h + R_m)(h + 2R_m)} + \frac{s_0}{2R_m + s_0} \right\}, \quad (1)$$

$$\sigma_{\theta ep} = -\sigma_{Scp} \left\{ 1 - L \cdot n \frac{R_n}{R_{rp}} - \frac{\eta \cdot v_{0(cp)}}{\sigma_{Scp}} \frac{[R_n^2 - (R_o + R_m)^2]}{R_n s_0 h} - \frac{\eta \cdot v_{0(cp)}}{\sigma_{Scp}} \frac{R_m^2}{h(h + R_m)(h + 2R_m)} - \frac{s_0}{2R_m + s_0} \right\}. \quad (2)$$

Контактные нагрузки определяем по уравнению Лапласа:

$$\sigma_\kappa = S_0 \frac{\sigma_{Rzp}}{R_m} + \frac{\sigma_{\theta ep} \cdot \sin(90 - \alpha)}{R_{cp}}. \quad (3)$$

По [ХШД]:

$$\sigma_{\theta ep} = \sigma_{Rzp} - \sigma_{Scp}. \quad (4)$$

В таком случае уравнение Лапласа можно записать в виде:

$$\sigma_\kappa = S_0 \frac{\sigma_{Rzp}}{R_m} + \frac{(\sigma_{Rzp} - \sigma_{Scp}) \cdot \sin(90 - \alpha)}{R_{cp}} = S_0 \cdot \sigma_{Rzp} \left(\frac{1}{R_m} + \frac{\sin \sin \beta}{R_{cp}} \right) - \frac{S_0 \cdot \sin \sin \beta}{R_{cp}} \sigma_{Scp}. \quad (5)$$

Подставляя значение меридиональных напряжений σ_{Rzp} , получим уравнение для определения контактных нагрузок на вытяжном ребре матрицы штампа.

$$\sigma_\kappa = S_0 \cdot \sigma_{Scp} \left\{ L n \frac{R_n}{R_{cp}} + \frac{\eta \cdot v_{0(cp)}}{\sigma_{Scp}} \frac{[R_n^2 - (R_o + R_m)^2]}{R_n s_0 h} + \frac{\eta \cdot v_{0(cp)}}{\sigma_{Scp}} \frac{R_m^2}{h(h + R_m)(h + 2R_m)} + \right. \\ \left. + \frac{s_0}{2R_m + s_0} \left(\frac{1}{R_m} + \frac{\sin \sin \beta}{R_{cp}} \right) - \frac{S_0 \times \sin \sin \beta}{R_{cp}} \sigma_{Scp} \right\}. \quad (6)$$

Для определения угла β , при котором контактные нагрузки на вытяжное ребро матрицы штампа максимальны, возьмём производную $(\sigma_\kappa)'$.

$$(\sigma_\kappa)' = \left[S_0 \cdot \sigma_{Rzp} \left(\frac{1}{R_m} + \frac{\sin \sin \beta}{R_{cp}} \right) - \frac{s_0 \cdot \sin \sin \beta}{R_{cp}} \sigma_{Scp} \right], \quad (7)$$

$$(\sigma_\kappa)' = \left[\frac{S_0 \cdot \sigma_{Rzp}}{R_m} \right]' + \left[\frac{S_0 \cdot \sigma_{Rzp} \cdot \sin \sin \beta}{R_{cp}} \right]' - \left[\frac{s_0 \cdot \sin \sin \beta}{R_{cp}} \sigma_{Scp} \right]', \quad (8)$$

$$(\sigma_\kappa)' = S_0 \cdot \left\{ \frac{[\sigma_{Rzp}]'}{R_m} + \frac{[\sigma_{Rzp}]' \cdot \sin \sin \beta}{R_{cp}} + \frac{\sigma_{Rzp} \cdot [\sin \sin \beta]'}{R_{cp}} + (\sigma_{Rzp} \cdot \sin \sin \beta) \cdot \right. \\ \left. \cdot \left[\frac{1}{R_{cp}} \right]' - \frac{[\sin \sin \beta]'}{R_{cp}} \sigma_{Scp} - \frac{\sin \sin \beta}{R_{cp}} [\sigma_{Scp}]' - \sin \sin \beta \cdot \sigma_{Scp} \cdot \left[\frac{1}{R_{cp}} \right]' \right\}, \quad (9)$$

$$(\sigma_\kappa)' = S_0 \times \left\{ \frac{[\sigma_{Rzp}]'}{R_m} + \frac{[\sigma_{Rzp}]' \cdot \sin \sin \beta}{R_{cp}} + \frac{\sigma_{Rzp} \cdot \cos \beta}{R_{cp}} + \frac{\sigma_{Rzp} \cdot \sin \sin \beta \cdot R_m \cdot \cos \cos \beta}{[R_o + R_m (1 - \sin \sin(\beta))]^2} - \right. \\ \left. - \frac{\sigma_{Scp} \cdot \cos \beta}{R_{cp}} - \frac{[\sigma_{Scp}]' \cdot \sin \sin \beta}{R_{cp}} - \frac{\sigma_{Scp} \cdot \sin \sin \beta \cdot R_m \cdot \cos \cos \beta}{[R_o + R_m (1 - \sin \sin(\beta))]^2} \right\}. \quad (10)$$

Приравняв её к нулю, мы определим угол β , при котором контактные нагрузки на вытяжное ребро матрицы штампа максимальны. На рисунке 1 представлено графическое решение этой задачи.

Это говорит о том, что функция σ_κ имеет ярко выраженный максимум. Именно в этом

месте начинаются процессы, приводящие к износу матрицы. Отсюда требуется начинать борьбу с износом матрицы.

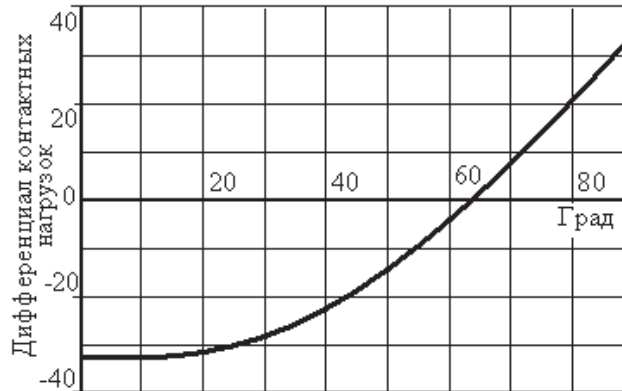


Рисунок 1. Определение экстремума функции контактных нагрузок

В настоящее время существуют различные методики определения величины линейного износа. Некоторые из них описаны в работах [5, 9, 12]. Наиболее полной и обоснованной является методика определения износа по А.С. Проникову. Согласно [9] уравнение линейного износа имеет вид:

$$U_{\text{л}} = K_{\text{из}} \cdot p^m \cdot \vartheta^n \cdot t^a; \quad (11)$$

где: p – давление на контакте; ϑ – скорость относительного перемещения; t – продолжительность изнашивания; m, n, a – показатели степени.

При нормальных условиях эксплуатации $n = a = 1$, коэффициент m – зависит от сочетания материалов пары.

Таким образом, подставив все компоненты и раскрыв их (вывод представлен в статье [8]), получим общее уравнение для определения линейного износа при нормальных условиях эксплуатации:

$$U_{\text{п}} = \frac{P_{\text{н}}}{P_{\text{ф}}} \sqrt{\frac{h}{R}} \frac{K_0}{\left[\frac{\sigma_{\text{в}}}{K_0 \cdot \mu \cdot (F/S)^m} \right]^y} \vartheta t; \quad (12)$$

где: $\sqrt{\frac{h}{R}}$ – параметр, отвечающий за шероховатость; $P_{\text{н}}$ – номинальное давление; $P_{\text{ф}}$ – фактическое давление; K_0 – распределение микронеровностей по высоте; $\sigma_{\text{в}}$ – предел прочности материала; μ – коэффициент трения (скольжения или качения); y – показатель степени, зависит от смазочного материала, может принимать значения от 0,1 до 15; ϑ – скорость относительного перемещения; t – продолжительность изнашивания; $p^m = F^m/S^m$ – давление на контакте есть отношение силы, действующей в трибосопряжении на площадь контакта.

В области холодной листовой штамповки мы можем влиять только на фактическую площадь контакта и/или смазочный материал (способ смазывания, количество смазывающего материала и т.д.). Другие параметры, изменение которых может повлечь за собой уменьшение износа, оказывают влияние на точность штампуемых деталей и технологические возможности процесса штамповки. Они во многом зависят от свойств и состояния металла заготовки.

В области ремонта автомобилей известен способ нанесения финишных антифрикционных безабразивных покрытий (ФАБО) [3]. Исследование этих процессов проходят как в России (работы Гаркунова Д.Н., Лозовского В.Н., Бурумкулова Ф.Х., Прокопенко А.К., Рыбаковой, Л.М. Куксенковой Л.И., Некрасова С.С., Потапова Г.К. Череповецкого И.Х.), так и за рубежом, например, работы профессора Г. Польцера (ФРГ). Суть технологического процесса ФАБО заключается в нанесении латунных (реже медных или бронзовых) покрытий после проведения финишных операций обработки деталей. Покрытия наносятся латунным (мед-

ным, бронзовым) карандашом. Толщина покрытий составляет 1 ... 5 мкм, что, как правило, оказывается в пределах допуска на размер обрабатываемых деталей. Нанесение покрытий происходит в технологической среде (как правило, глицерин технический – 1 м.ч. 10% водный раствор HCl – 1 м.ч., но используют и другие составы [3]).

Нанесение этих покрытий позволяет существенно уменьшить износ поверхностей трения, поскольку трение твёрдого металла по твёрдому металлу заменяется на трение твёрдого металла по мягкому металлу, что увеличивает площадь контактной поверхности. Похожий процесс происходит при избирательном переносе, но там медная плёнка образуется на основе явления самоорганизации и требует некоторого времени. При холодной листовой штамповке время изнашивания сопряжения (штамповки) составляет от нескольких секунд до нескольких минут, и медная плёнка не успевает образоваться на вытяжном ребре матрицы штампа.

Для проверки этого предположения на кафедре МТ13 МГТУ им. Н.Э. Баумана «Реновация средств и объектов материального производства в машиностроении» в рамках аспирантской работы была восстановлена машина трения Проникова А.С. возвратно-поступательного действия [10]. Фото экспериментальной установки представлено на рисунке 2. На рисунке 3 представлен узел, в котором наносилось покрытие ФАБО.

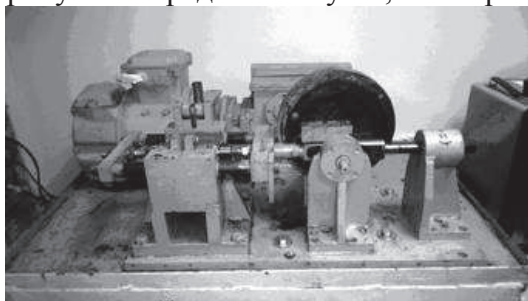


Рисунок 2. Общий вид экспериментальной установки машины трения возвратно-поступательного действия Проникова А.С.

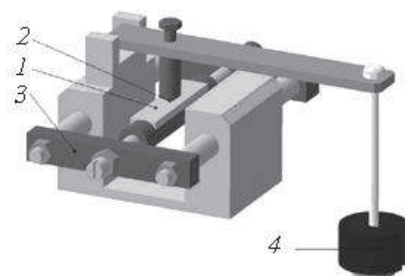


Рисунок 3. Узел для нанесения покрытия ФАБО

На рисунке 3: 1. Образец, на который наносится покрытие (имитация вытяжного ребра матрицы штампа); 2. Латунный (медный, бронзовый) карандаш в оправке; 3. Каретка, осуществляющая возвратно-поступательное движение; 4. Грузы для создания требуемого усилия прижатия образцов через систему рычагов.

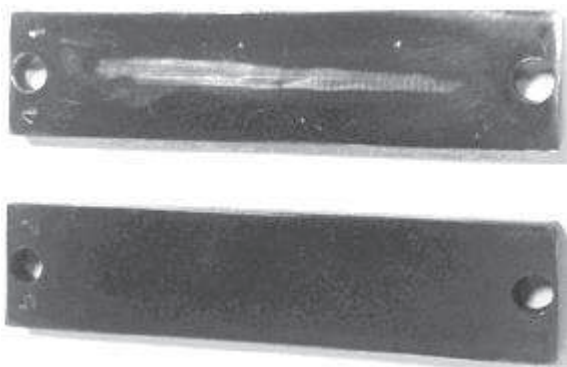


Рисунок 4. Исходный образец (сверху) и образец с нанесённым покрытием ФАБО (снизу)

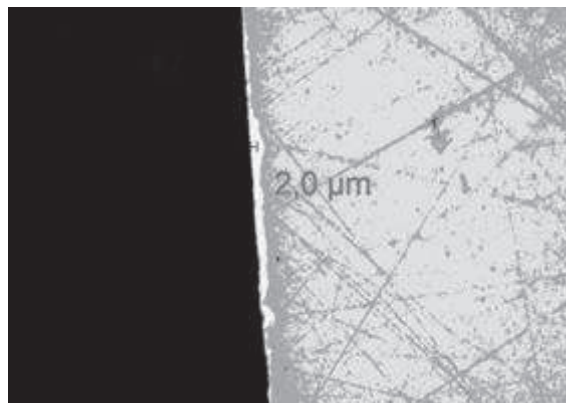


Рисунок 5. Микрошлиф торцевого среза образца с нанесённым покрытием ФАБО (латунь ЛС 59-1 на образце из стали 45)

Покрyтия наносились на стальные (сталь 45 ГОСТ 1050-88) образцы латунным (ЛС59-1 ГОСТ 2060-2006), (медным (МЗ ГОСТ 859-2001), бронзовым (БрХ1 ГОСТ 493-79) карандашом), скорость движения карандаша по образцу: 0,1м/с, время нанесения: 2 мин, число проходов: 154. Технологическая жидкость - глицерин технический 2 – м.ч.; 10% водный раствор HCl – 1 м.ч. Способ нанесения технологической жидкости – однократный перед запуском, на поверхность образца. В процессе натирания жидкость не скатывается, т.к. не смачи-

вает образец. Исходный образец (сверху) и образец с нанесённым покрытием ФАБО (снизу) представлены на рисунке 4. Микрошлиф торцевого среза покрытия ФАБО (латунь ЛС 59-1 на образце из стали 45) представлен на рисунке 5.

На микрошлифе видно, что наносимый материал эффективно заполняет микронеровности поверхности образца, за счёт этого увеличивается площадь контакта.

Для определения износостойкости покрытия были проведены экспериментальные исследования на машине трения Проникова А.С. возвратно-поступательного действия. Схема установки образца была идентичной схеме установки образца для нанесения покрытия ФАБО. Экспериментальные исследования проводились для четырёх видов штампуемых материалов (сталь 10, 12Х18Н10Т, АМг6М, ЛС59-1), четырёх видов покрытия (без покрытия, ФАО латунь, ФАО бронза, ФАО медь) и четырёх видов смазочных материалов.

Смазочные материалы представляли собой следующие композиции:

1. Базовое масло И-50 без добавок.
2. Базовое масло И-50 с 5% добавкой препарата на основе наноалмазов: «Evo®lution».
3. Базовое масло И-50 с 5% добавкой препарата на основе серпентинов: *Wagner*;
4. Базовое масло И-50 с 5% добавкой металлоплакирующей присадки Валена.

Выбранные смазочные композиции были отобраны по результатам экспериментальных исследований проведённых в МГТУ им. Н.Э. Баумана и ГНУ ГОСНИТИ Россельхозакадемии и в других отечественных и зарубежных организациях [2, 11]. Износ определялся путём взвешивания образца до и после испытания на лабораторных весах.

Результаты испытаний для материала ЛС59-1 представлены на рисунке 6, по оси ординат указано изменение массы образца в граммах.

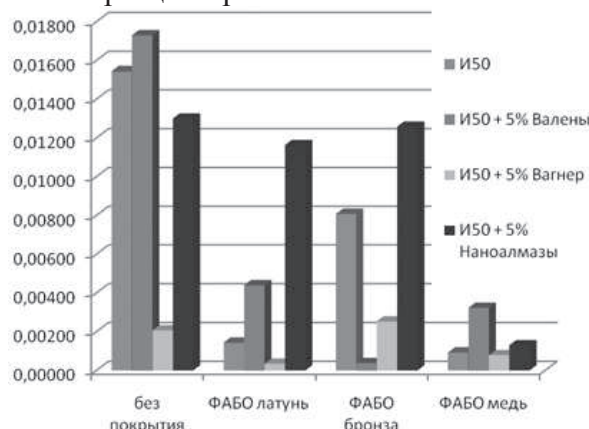


Рисунок 6. Результаты испытаний на износостойкость различных покрытий ФАБО для материала ЛС59-1

Несмотря на то, что исследования ещё не завершены в полном объёме, можно сделать вывод, что наиболее эффективной технологией повышения износостойкости является использование покрытия ФАБО медь, а смазочный материал надо использовать с 5% добавкой металлоплакирующей присадки Валена. Но в ходе испытаний по нанесению покрытия ФАБО оказалось, что латунное покрытие наносится стабильней, требует меньшего числа ходов для нанесения, не требует больших нагрузок. Возможно, при нанесении покрытия на вытяжное ребро матрицы штампов латунное покрытие окажется более технологичным, чем другие.

Проведение натурных испытаний осуществлялось на испытательной машине типа ИПэ100, представленной на рисунке 7. В качестве образца для штамповки использовалось днище диаметром 52 мм, высотой 16 мм, толщиной 1 мм. Материал днища: - сталь 3. Внешний вид штампованных днищ представлен на рисунке 8.

В процессе эксперимента определялось изменение усилия штамповки при использовании различных смазочных материалов. По результатам эксперимента строился график изменения усилия штамповки в зависимости от перемещения пуансона. График представлен на рисунке 9.

Основываясь на проведённые исследования можно сделать вывод, что при введении в смазочный материал различных присадок, усилие штамповки изменяется незначительно: $\pm 5\%$.



Рисунок 7. Общий вид испытательной машины типа ИПэ100 с установленной оснасткой



Рисунок 8. Штампованные днища

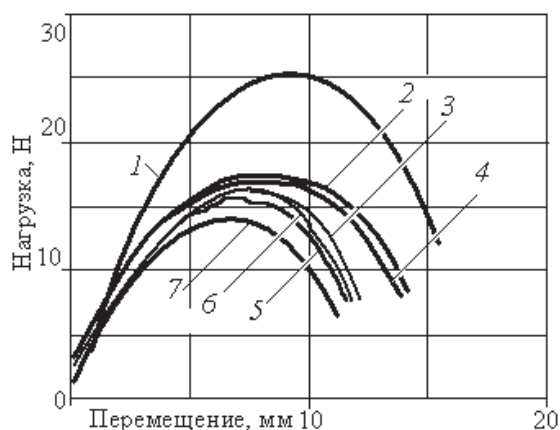


Рисунок 9. График изменения усилия штамповки в зависимости от перемещения пуансона при использовании различных смазочных материалов: 1 – И50 дубль; 2 – металлоплакирующие 40%; 3 – серпентины 5%; 4 – металлоплакирующие 20%; 5 – наноалмазы 5%; 6 – металлоплакирующие 5%; 7 – И50



Рисунок 10. Область нанесения покрытия ФАБО на вытяжном ребре матрицы штампа

В настоящее время ведётся разработка оснастки для нанесения покрытия ФАБО на вытяжное ребро матрицы штампа с целью сравнить износостойкость стандартного штампа и штампа с покрытием ФАБО. Покрытие ФАБО на вытяжное ребро матрицы штампа будет наноситься в области максимальных контактных нагрузок. Максимум приходится на угол $60 \dots 70^\circ, \pm 10^\circ$. Схема области нанесения покрытия представлена на рисунке 10

Выводы

Исследования, проведённые к настоящему времени, показали перспективы применения технологии ФАБО в области повышения стойкости штамповой оснастки. Проводится оформление заявки на патент по способу увеличения стойкости штамповой оснастки и обрабатывающего устройства для нанесения покрытий на вытяжное ребро матрицы штампа.

Экспериментальные исследования показали, что представленная технология позволяет повысить стойкость матриц штампов на 30..50%

Эффект повышения стойкости обеспечивается нанесением ФАБО на наиболее нагруженные части штампа (вытяжное ребро матрицы) с совместным применением отечественной металлоплакирующей присадки «Валена».

Необходимо дальнейшее исследование представленной технологии с целью определения оптимальных условий нанесения покрытия ФАБО и оптимальной концентрации присадки в смазочной среде, применительно к различным штампуемым материалам.

Литература

1. Повышение стойкости штампов/ Вайнтрауб Д.А. – Лениздат: Ленинград. 1958.
2. Исследования ГОСНИТИ, ВНИИТиНи ООО «РИП» в области нетрадиционной триботехники/ Дунаев А.В., Остриков В.В., Пустовой И.Ф. Ремонт, восстановление, модернизация. – 2013. – № 3.
3. Финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО) деталей/ Карпенков В.Ф., Стрельцов В.В., Приходько И.Л., Попов В.Н., Некрасов С.С. – Пушкино : ОНТИ ПНЦ РАН, 1996 – 108 с.
4. Технология листовой штамповки. Технологическое обеспечение точности и стойкости/ В.Г. Ковалёв, С.В. Ковалёв. – М. : КНОРУС, 2010 – 224 с.
5. Основы расчётов на трение и износ/ Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. – М.: Машиностроение, 1977 – 436 с.
6. Теория пластической деформации и обработка металлов давлением/ Мастеров В.А., Берковский В.С. – М. Металлургия, 1989.
7. Холодная листовая штамповка днищ/ Мельников Э.Л. – М.: Машиностроение, 1976. – 184 с.
8. Методика проектирования машин с заданным ресурсом работы/ Мельников Э.Л., Серёжкин М.А. Ремонт, восстановление, модернизация. – 2009. – № 12.
9. Параметрическая надёжность машин/ Проников А.С. М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002 – 560с.
10. Повышение стойкости штамповой оснастки трибологическими методами/ Ремонт, восстановление, модернизация/ Серёжкин М.А. Мельников Э.Л. 2013. – № 12.
11. Формирование катализатором «Evo@lution» в зонах трения алмазоподобных углеродных пленок/ Сокол С.А. Ремонт, восстановление, модернизация. 2013. – № 3.
12. Расчёт соединений /Хохлов В.М., Хохлова С.В., Петраков Д.И. – Брянск, ООО «ВИМАХО», 2007 – 208 с.

Определение минимально допустимого радиуса закругления в штампе для изотермического прямого осесимметричного выдавливания алюминиевого сплава АД35

Воронков В.И.
Университет машиностроения
8(926)-135-63-40, v-i-w@bk.ru

Аннотация. В статье описывается методика, а также приведены графики, для определения оптимального радиуса закругления в инструменте для изотермической штамповки при прямом выдавливании в осесимметричной матрице. Метод определения оптимального радиуса закругления основывается на решении задачи минимизации полной мощности пластической деформации при течении металла в осесимметричной матрице без закругления, т.е. при свободном течении материала на переходе. Теоретическое решение задачи нахождения оптимального радиуса закругления проверено экспериментально.

Ключевые слова: оптимальный радиус закругления, метод баланса мощностей, прямое выдавливание, изотермическая штамповка, сплав АД35

Изотермическая штамповка – процесс горячего деформирования заготовок деталей в инструменте, температура которого находится в пределах рекомендуемого температурного