

РОЗДІЛ «МЕХАНІКА. МАШИНОБУДУВАННЯ»

УДК 671.791.927

КАМЕЛЬ Г.И., д.т.н., профессор
ИВЧЕНКО П.С., к.т.н., доцент
ВОЛОШИН В.А., инженер
КОТЮХА М.С., магистр

Днепродзержинский государственный технический университет

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗНОСА ДОРОЖНЫХ ФРЕЗ

Введение. Износ деталей, рабочих органов инструмента является закономерным процессом, неизбежно сопровождающим работу машин, механизмов промышленного оборудования и представляющим одну из форм их физического старения. Износ происходит, как правило, интенсивно и приводит к изменению размеров, формы и состояния рабочих поверхностей деталей, чем вызывает постепенное снижение производительности машин.

Постановка задачи. В настоящее время одной из основных проблем триботехники является вопрос о повышении износостойкости сталей и сплавов. Это связано с применением в современных машинах и механизмах технологий, которые предусматривают эксплуатацию деталей в условиях абразивного изнашивания при наличии широкого спектра давлений, температур и скоростей относительного перемещения. Решение вопросов повышения срока службы деталей механизмов связано с уменьшением интенсивности разрушения поверхности трения, которого можно добиться только за счет комплексного исследования как химического, структурно-фазового состава и свойств сталей и сплавов, так и минералогического состава и свойств абразивной среды, внешних условий, обуславливающих характер и механизм изнашивания рабочей поверхности детали [1, 2].

Изменение геометрических размеров резцов приводит к значительной потере производительности и энергоемкости. В данной работе рассматриваются проблемы изнашивания рабочих органов дорожных фрез, применяемых для снятия асфальта.

Целью исследования является изучение закономерностей износа и сохранение геометрических размеров резцов дорожных фрез.

Результаты работы. В дорожных фрезях, служащих для снятия верхнего слоя асфальта, рабочими органами являются резцы, которые в процессе эксплуатации подвержены жесткому воздействию абразивных частиц, обладающими высокой микротвердостью и прочностью, а также значительным ударным нагрузкам вследствие контакта с твердыми зёрнами гранита.

Изнашивание резцов приводит к снижению производительности дорожных фрез, увеличению затрат на замену резцедержателей, а также повышению энергозатрат. Таким образом, увеличение срока службы рабочих органов дорожных фрез в настоящее время является сложной и актуальной задачей, решение которой связано с поиском для конкретных условий эксплуатации оптимальных износостойких материалов и разработкой технологии защиты быстроизнашивающихся деталей.

Технологический процесс нанесения твердых металлокерамических износостойких слоев на рабочие органы деталей, подверженные абразивному износу, возможно осуществлять с помощью применения разнообразных видов наплавки (электродуговая, электрошлаковая, электроискровая, газовая, методами порошковой металлургии, лазерная, плазменная и др.), напыления, проведения химико-термического упрочнения (цементация, борирование, азотирование). Использование различных технологических

методов в каждом конкретном случае получения износостойких покрытий с определенными физико-механическими свойствами и структурно-фазовым состоянием определяется параметрами и технологическими характеристиками процесса образования металлических слоев.

Задача обобщения характеристик различных методов нанесения покрытий из-за недостаточности сведений по некоторым параметрам процессов оказалась достаточно трудной. Несмотря на это, предпринята попытка такого обобщения (табл.1). Рассматривая методы нанесения покрытий по таким показателям, как толщина покрытия, его прочность, разнообразие материалов покрытия и возможность их применения, можно сказать, что метода, удовлетворяющего всем требованиям, предъявляемым к сопряженным деталям, не существует.

Таблица 1 – Методы нанесения износостойких покрытий и их основные технические показатели

Метод нанесения покрытия	Температура дуги (струи), К	Нагрев основного металла, К	Толщина наносимого слоя, мм	Прочность сцепления, МПа	Производительность нанесения покрытия, кг/ч
Электродуговая наплавка	5000-10000	1300-1600	3-20	-	3-4
Электрошлаковая наплавка	-	1400-1600	5-60	-	15-150
Электродуговая металлизация	1000-1500	300-370	0,5-2,5	5-15	4-5
Газопламенное напыление	2400-2800	300-500	0,1-2,0	10-25	3-4
Детонационное напыление	2400-2800	300-500	0,05-0,5	75-100	4,0
Плазменное напыление	3000-20000	300-500	0,1-50,0	15-100	0,5-8

В условиях разнообразия методов нанесения износостойких покрытий, оборудования для их реализации и широкой номенклатуры напыляемых материалов и деталей возникают трудности с обоснованным выбором метода нанесения слоя в зависимости от эксплуатационных требований, а также с выбором оптимального решения. К тому же следует принять во внимание, что помимо удовлетворения эксплуатационных требований технологический процесс должен быть достаточно эффективным.

Немецкой фирмой Wirtgen предложена рациональная форма режущего инструмента (рис.1).

Резец состоит из твердосплавного наконечника 1, который производится порошковым прессованием из материала ВК-8 (92% WC, 8% Co, $\sigma_{изг}=1666$ МПа, 88 HRA) (рис.1), закаленного корпуса 2, в который утоплен наконечник, благодаря чему твердый сплав может использоваться оптимальным образом. Шайба 3 с внешним диаметром 44 мм предназначена для распределения ударных нагрузок по большой площади. Вследствие этого снижен износ резца и резцедержателя, а также обеспечена легкость вращения резца.

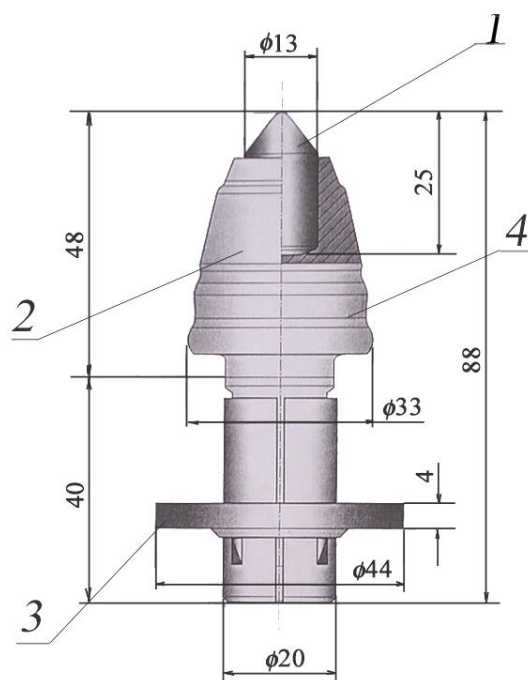


Рисунок 1 – Резцы W1-13 с круглым стержнем, разработанные фирмой Betek для дорожных фрез «Wirtgen»

су в результате контакта с фрезеруемым материалом, обладающим сильным абразивным действием. Чем больше изношен резец, тем ниже его способность внедряться в материал (рис.2). По мере износа резцов соответственно снижается и максимально возможная подача машины.

Технологически предусмотренная канавка 4 предназначена для удаления резца специальным съемником.

С увеличением износа рабочих органов резко возрастает сопротивление рабочему процессу. Визуальный анализ и анализ под микроскопом характера изношенных поверхностей показывает, что износ рабочих органов выражается в виде микро- и макро-царапин длиной от нескольких микрон до 50 мкм и более, глубиной от нескольких микрон до 6 мкм и более и микро- и средней площадью от нескольких квадратных микрон до 10 мм² и более при их глубине от 5 до 5000 мкм.

Для каждого установившегося вида износа рабочие органы приобретают характерную эпюру износа.

Рассмотрим характер износа резцов дорожных фрез фирмы «Wirtgen». Каждый резец, закрепленный на барабане ротора, подвергается постоянному износу

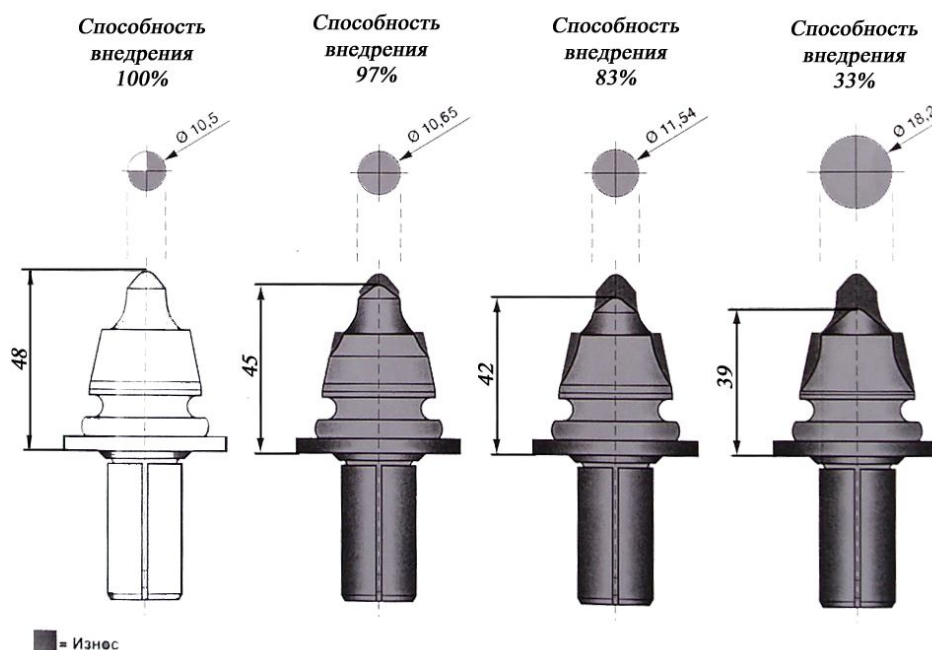


Рисунок 2 – Зависимость способности внедрения наконечника в асфальт в зависимости от величины его износа

Это означает, что при использовании сильно изношенных резцов производительность фрезерования падает.

Если резец работает в условиях высокой вязкости асфальта, то корпус резца изнашивается быстрее наконечника. Вследствие этого корпус больше не может удерживать наконечник, и резец разрушается. Кроме того, неблагоприятная форма резца увеличивает износ корпуса. Иное наблюдается при неравномерном и, следовательно, слишком быстром износе резца. Он всегда указывает на то, что резец не может вращаться в держателе. Причиной этому может быть износ резцедержателя или попадание мелких частиц материала между стержнем резца и гильзой.

В процессе работы резца дорожной фрезы можно выделить несколько зон:

1 – верхняя часть наконечника подвержена интенсивному ударно-абразивному износу в результате внедрения наконечника в асфальтное покрытие и разрушения твердых частиц гранита;

2 – боковая часть наконечника подвержена интенсивному абразивному износу типа «материал – абразивная частица – материал»;

3 – боковая часть корпуса, в котором находится наконечник, подвержена износу типа «материал – абразивная частица»;

4 – верхняя часть резцедержателя подвергается абразивному износу в результате направленного движения потока абразивных частиц измельченного асфальта в направлении резцедержателя.

Рассмотрим отдельные виды износа.

Ударно-абразивный износ резца дорожной фрезы происходит при ударе по твердым частицам асфальта, способным поражать поверхность контактирования путем образования на ней лунок – следов прямого динамического внедрения этих частиц. При ударно-абразивном износе нет рисков, что указывает на невозможность относительного перемещения твердых частиц вдоль этой поверхности.

В основе механизма ударно-абразивного износа лежат прямое внедрение в металл твердой частицы и связанная с ним деформация, завершающаяся разрушением микрообъемов металла и образованием лунки и частиц износа. Твердая частица, внедряясь в ранее образованную лунку, стремится сдвинуть металл перемычек путем повторного деформирования или хрупкого выкрашивания в зависимости от его механических свойств.

При ударно-абразивном износе рельеф поверхности металла подвергается интенсивной деформации, предшествующей ее разрушению в макрообъемах. Деформация поверхностного слоя вызвана тем, что при соударении его поверхности с твердыми абразивными частицами в пятнах контакта развиваются высокие удельные нагрузки.

Закаленный корпус 2 (рис.1). Происходит износ подвижной поверхности относительно неподвижной. Если рассматривать указанную систему в достаточно малый промежуток времени и на достаточно малом участке [3], то независимо от характера взаимных перемещений поверхностей трения можно утверждать, что в каждый момент поверхность резца движется относительно поверхности абразива поступательно с мгновенной относительной линейной скоростью. В общем случае можно считать, что абразивная частица округлой формы с несколькими радиусами.

Процесс взаимодействия абразивной частицы с поверхностями трения можно разделить на две стадии: пассивную и активную. На первой стадии абразивная частица взаимодействует с одной из поверхностей трения либо вообще не взаимодействует с поверхностями [3], т.е. свободно «плавает» в зазоре. На второй стадии частица взаимодействует с обеими поверхностями трения одновременно. Активную стадию можно разбить на три этапа: 1) начало заклинивания абразивной частицы между поверхностями трения; 2) внедрение абразивной частицы в трущиеся поверхности; 3) повреждение поверхности в результате пластического деформирования, усталостного разрушения или резания металла.

Износ продуцируется свободными абразивными частицами, движущимися в воздушно-абразивном потоке в определенном направлении. Интенсивность износа определяется как результат множественных ударов твердых частиц снятого асфальта о поверхность износа при разных углах атаки. Начальный период разрушения металла характеризуется внедрением абразивной частицы в поверхностный слой на некоторую глубину, второй – безотрывным перемещением частиц материала вдоль поверхностного слоя на некоторое расстояние, при котором происходят смещение микрообъемов металла в слое в направлении внедрения частицы и отрыв их от массива. Напряжения и деформации, возникающие при внедрении абразивной частицы в металл, зависят от угла атаки и от комплекса факторов, характеризующих параметры потока частиц и сопротивление металла упруго-пластическим деформациям. В зоне контакта будут развиваться упругие и пластические деформации, способствующие смятию металла под частицей в радиальном направлении и последующему тангенциальному сдвигу в направлении движения этой частицы относительно поверхности.

При малых углах атаки, вследствие преобладания тангенциальной компоненты скорости удара, основным процессом разрушения поверхностного слоя является тангенциальное смещение микрообъемов металла в направлении внедрения, т.е. микрорезание. При углах атаки, близких к 90° , вследствие преобладания нормальной компоненты скорости механизм разрушения поверхностного слоя металла в потоке абразивных частиц приобретает полидеформационный ударный характер.

Внедрение абразивной частицы в поверхность изнашивания при свободном ударе можно описать уравнениями, устанавливающими связь между контактными силами в точке соприкосновения соударяющихся объектов и общей деформацией вдоль этой поверхности [4].

Установлено [3], что интенсивность абразивного износа и износ при микрорезании исходно-свободными абразивными частицами можно рассчитать из геометрии срезаемой стружки:

$$I_h = \frac{hbn_a}{A_a} 10^{-6}, \quad (1)$$

где h – глубина внедрения, мкм; b – ширина царапания, мкм; n_a – число абразивных частиц; A_a – номинальная площадь контакта, мм^2 .

Величина износа определяется:

$$U = I_h L 10^3, \quad (2)$$

где L – путь трения, мм.

Ширину царапания согласно экспериментальным работам можно принять равной

$$b = 1,4R. \quad (3)$$

Выводы.

1. При ударно-абразивном износе твердых сплавов из всех физико-механических характеристик удовлетворительную корреляцию с износостойкостью имеют твердость, предел прочности при сжатии и коэрцитивная сила.

2. Порошковые твердые сплавы, более износостойкие, чем сталь в условиях абразивного изнашивания, при ударно-абразивном изнашивании такого преимущества не имеют.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов С.Н. Теоретические основы многокритериального анализа изнашивания сталей и сплавов / С.Н.Попов // Восстановление и повышение износостойкости и срока

- службы деталей машин. – Запорожье: Изд-во ОАО “Мотор Сич”. – 2000. – С.360-389.
2. Попов С.Н. Решение задач трибоматериаловедения на основе системных многокритериальных методов математического анализа износостойкости сталей и сплавов / Попов С.Н., Антонюк Д.А., Попова Т.В. // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2004. – №4. – С.172-181.
 3. Икрамов У.А. Расчетные методы оценки абразивного износа / Икрамов У.А. – М.: Машиностроение, 1987. – 317с.
 4. Виноградов В.Н. Абразивное изнашивание / Виноградов В.Н., Сорокин Г.М., Колокольников М.Г. – М.: Машиностроение, 1990. – 224с.

Поступила в редколлегию 15.11.2012.

УДК 621.74

МОГИЛЕВЦЕВ О.А., к. т. н., доцент
ГРЕСС А.В., д.т.н., профессор
ОРЛАТЫЙ Г.В., аспирант

Днепродзержинский государственный технический университет

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЖАТОГО ВОЗДУХА ВО ВСТРЯХИВАЮЩИХ МЕХАНИЗМАХ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМОВОЧНЫХ МАШИН

Введение. Встряхивающие механизмы современных формовочных машин имеют пневматический привод. Сжатый воздух является важным энергетическим ресурсом в литейном цехе, поэтому вопрос эффективности его использования для получения полезной работы актуален. С целью повышения степени использования энергии сжатого воздуха все современные встряхивающие механизмы имеют рабочий цикл с отсечкой воздуха. Это позволяет исключить бесполезный его расход при выхлопе. Кроме того, с целью дальнейшего снижения расхода воздуха в рабочем цикле механизмов с расширением воздуха в замкнутом пространстве встряхивающего цилиндра предусмотрен участок хода поршня, при котором как впускные, так и выхлопные отверстия закрыты. Это позволяет использовать остаточную энергию сжатого воздуха в цилиндре для выполнения полезной работы.

С качественной точки зрения работа различных типов пневматических встряхивающих механизмов достаточно подробно рассмотрена в работах [1, 2]. Однако в количественном отношении вопрос об эффективности расширения воздуха в цилиндре встряхивающего механизма исследован недостаточно.

Постановка задачи. Исследование зависимости параметров работы встряхивающих механизмов от величины хода расширения сжатого воздуха и определение оптимальной величины этого участка хода поршня.

Результаты работы. Исследование выполнено методом однофакторного численного эксперимента на компьютерных моделях встряхивающих механизмов. Моделирование и расчеты проведены с использованием программного средства, разработанного в ДГТУ [3, 4] на основе алгоритма, предложенного П.Н.Аксеновым [1].

Для исследования выбраны виртуальные встряхивающие механизмы с поршневым и золотниковым распределением воздуха (далее для краткости будем называть их поршневым и золотниковым механизмами соответственно) с диаметром встряхиваю-

шого поршня 220 мм (полезная грузоподъемность около 500 кг), относительной площадью впускных отверстий 0,013 мм², выхлопных – 0,053 мм², ходом наполнения – 40 мм.

Для механизма с поршневым распределением начальная высота S_0 подпоршневого пространства (по другой терминологии – высота вредного пространства) составляет 71 мм, с золотниковым – 40 мм. Для золотникового механизма ход предварения впуска – 25 мм (равен диаметру впускного отверстия), для поршневого он всегда равен ходу наполнения.

Поршневой механизм имеет 8 круглых выхлопных отверстий диаметром 18 мм каждое. Предварительные расчеты показывают, что при меньшем количестве выхлопных отверстий (и, соответственно, большем диаметре) они открываются не полностью при ходе поршня вверх. Поскольку золотниковый механизм существующей конструкции имеет только одно выхлопное отверстие, он выполнен прямоугольной формы высотой 18 мм и шириной 113 мм (при сохранении той же суммарной площади выхлопа, что и для поршневого механизма).

В процессе компьютерного моделирования в первой серии численных экспериментов изменяется только величина S_r хода расширения воздуха в замкнутом пространстве встряхивающего цилиндра при сохранении остальных параметров на постоянном уровне. Ход расширения изменяется в пределах, обеспечивающих стабильную работу встряхивающего механизма. Во второй серии одновременно изменяется и начальная высота S_0 .

На основании полученных результатов построены и проанализированы графики зависимости основных параметров работы механизмов от величины хода расширения. В качестве основных параметров приняты полезная мощность механизма и удельный расход свободного воздуха на получение одного килоджоуля полезной работы. Первый показатель характеризует производительность механизма, второй – эффективность использования сжатого воздуха.

Как показал П.Н.Аксенов [1], удельная полезная работа встряхивающего механизма за один цикл встряхивания равна сумме удельных энергий удара и отражения. Поэтому полезную мощность механизма рассчитываем по формуле

$$N = F_n \cdot (e + e') \cdot n, \text{ Вт}, \quad (1)$$

где F_n – площадь встряхивающего поршня, м²;

e и e' – удельные энергии удара и отражения, соответственно, Дж/ м²;

n – частота ударов, 1/с.

Удельный расход свободного воздуха на получение 1 кДж полезной работы рассчитывали по формуле

$$V_{\text{инд}} = \frac{V_{\text{еіа}} \cdot n}{N}, \text{ л/Дж}, \quad (2)$$

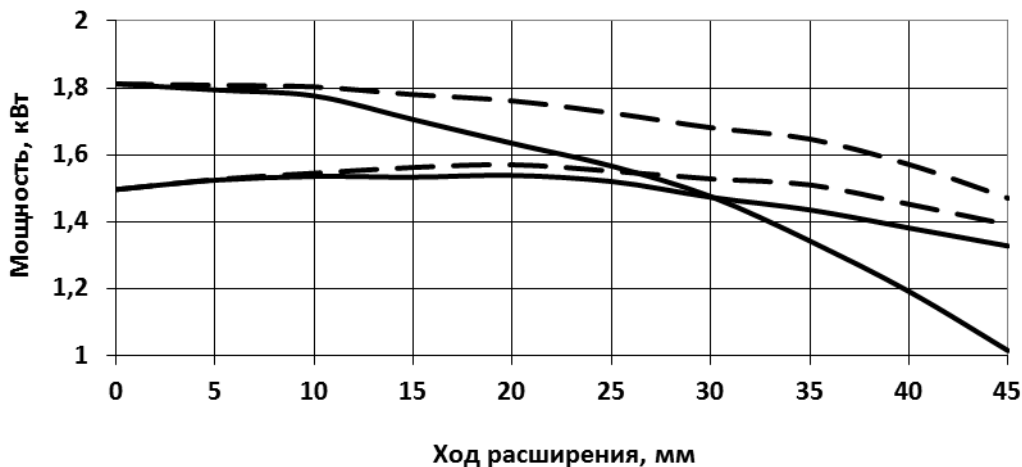
где $V_{\text{инд}}$ – индикаторный расход свободного воздуха за один цикл встряхивания, м³.

Значения величин, входящих в формулы, рассчитаны при компьютерном моделировании.

Как показывает компьютерное моделирование, оба механизма устойчиво работают при ходе расширения S_r от нуля до 45 мм. При увеличении S_r полный ход поршня возрастает, но ход инерции уменьшается, вследствие чего при $S_r > 35$ мм выхлопные отверстия открываются не полностью. При дальнейшем увеличении S_r до значений более 45 мм поршень поднимается, но на первых же циклах встряхивания заводится, не доходя до начала открытия выхлопа, и механизм перестает работать. Величина удельной энергии удара и частота ударов мало зависят от хода расширения.

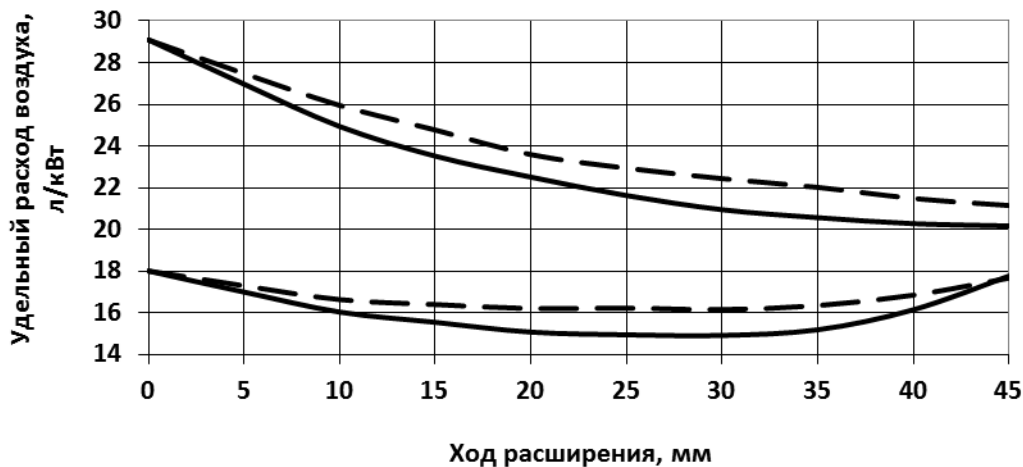
Зависимость полезной мощности механизма с поршневым воздухораспределением от величины S_r показана на рис.1, а зависимость удельного расхода свободного

воздуха – на рис.2 (кривые 1). Как видно, при увеличении S_r до 20 мм полезная мощность несколько увеличивается, а затем медленно падает. Общее изменение мощности не превышает 15%. Удельный расход воздуха при увеличении S_r существенно уменьшается: при $S_r = 40$ мм он снижается на 30% по сравнению с вариантом, когда ход расширения отсутствует.



1 – поршневой механизм с постоянной начальной высотой S_0 ;
 2 – то же, с переменной S_0 ; 3 – золотниковый механизм с постоянной S_0

Рисунок 1 – Зависимость мощности механизма от хода расширения



обозначения на рис. 1

Рисунок 2 – Зависимость удельного расхода воздуха от хода расширения

При анализе индикаторных диаграмм замечено, что при увеличении хода расширения давление в цилиндре, при котором происходит удар, возрастает, и при больших значениях S_r имеет место обратное нагнетание воздуха из цилиндра в магистраль. Из логических соображений следует, что наилучшим является вариант, когда давление при ударе соответствует точке равновесия сил, действующих на поршень. Действительно, если удар происходит при меньшем давлении, поршень после удара поднимается медленнее, если удар происходит при более высоком давлении, воздух тормозит поршень в конце хода вниз, снижая энергию удара.

Поэтому в следующей серии численных опытов одновременно с увеличением S_r корректируется (увеличивается) начальная высота S_0 таким образом, чтобы давление при ударе всегда соответствовало точке равновесия сил. Результаты показаны на рис. 1 и 2 кривыми 2. Как видно, этот прием малоэффективен для механизма с поршневым воздухораспределением: мощность несколько возрастает (не более, чем на 5%), одновременно увеличивается удельный расход воздуха (на 6%).

Основной особенностью встряхивающего механизма с золотниковым воздухо-распределением является меньшая величина хода предварения впуска по сравнению с ходом наполнения. Это улучшает условия работы механизма, снижая расход энергии поршня на сжатие воздуха в цилиндре.

Результаты анализа влияния хода расширения (без изменения S_0) на работу золотникового механизма показаны на рис. 1 и 2 (кривые 3).

Как видно из графиков, для золотникового механизма увеличение хода расширения приводит к уменьшению мощности механизма. При небольшом ходе расширения мощность золотникового механизма значительно (до 20%) больше, чем аналогичного поршневого. Однако при увеличении S_r мощность первого падает быстрее, чем второго. При $S_r = 30$ мм их мощности одинаковы, а при $S_r = 40$ мм мощность золотникового механизма на 24% меньше, чем поршневого.

Удельный расход воздуха для золотникового механизма на всем интервале стабильной работы значительно ниже, чем для поршневого. С увеличением S_r этот показатель вначале уменьшается, затем возрастает. Минимальный удельный расход воздуха имеет место при значениях S_r от 20 до 35 мм.

Картина существенно меняется, если с увеличением S_r одновременно увеличивать S_0 , поддерживая давление при ударе на уровне точки равновесия сил, действующих на поршень (кривые 4 на рис. 1 и 2). При этом условии мощность золотникового механизма на всем интервале значений S_r существенно превышает мощность поршневого. С увеличением S_r мощность несколько снижается. Удельный расход воздуха при условии корректировки S_0 несколько (до 8%) выше, чем без нее, однако он остается меньшим, чем для поршневого механизма.

Представляет интерес сравнение полученных результатов с рекомендациями [2], разработанными на основе анализа существующих формовочных машин. Согласно этим рекомендациям, безразмерная величина хода расширения должна составлять 0,15-0,25. Безразмерная форма позволяет применять разработанные рекомендации для механизмов с различной высотой встряхивания.

С целью сравнения полученных в данной работе результатов с рекомендациями [2] необходимо перевести результаты в безразмерный вид. Для этого следует отнести величины участков хода поршня к «конструктивному ходу встряхивания», то есть к расстоянию, которое проходит поршень от нижнего положения до полного открытия выхлопных отверстий.

Как следует из графиков, оптимальная величина хода расширения для исследованного поршневого механизма составляет: с точки зрения получения максимальной мощности 15-25 мм (в безразмерном виде 0,20-0,30); с точки зрения наиболее эффективного использования сжатого воздуха 35-45 мм (0,38-0,44). Для золотникового механизма эти величины равны соответственно 10-20 (0,15-0,26) и 15-35 мм (0,20-0,38).

Таким образом, компьютерный эксперимент, в основном, подтвердил рекомендации [2], если иметь в виду условия достижения максимальной мощности механизма. С точки зрения минимального расхода воздуха, оптимальная величина относительного хода расширения должна быть несколько большей, чем по рекомендациям [2].

Выводы. Исследование влияния расширения воздуха в цилиндре встряхивающего механизма, выполненное на компьютерной модели, показало следующее: 1) для механизма с поршневым воздухораспределением увеличение хода расширения в пределах устойчивой работы механизма мало влияет на полезную мощность механизма, но позволяет уменьшить удельный расход воздуха, необходимый для получения единицы полезной работы, на 30%; 2) для механизмов с золотниковым воздухораспределением увеличение хода расширения в определенных пределах оказывает значительно большее положительное влияние. Однако, увеличивая ход расширения для таких механизмов, необходимо одновременно корректировать начальную высоту подпоршневого пространства таким образом, чтобы поддерживать давление, при котором происходит удар, на уровне точки равновесия сил, действующих на поршень; 3) показатели эффективности работы золотникового механизма, при прочих равных условиях, значительно лучше, чем поршневого. Так, при оптимальной величине хода расширения и начальной высоте подпоршневого пространства мощность механизма с золотниковым воздухораспределением на 12-15% выше, а удельный расход воздуха на 25-35% меньше, чем с поршневым воздухораспределением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов П.Н. Оборудование литейных цехов: [учебник для вузов] / Аксенов П.Н. – М.: Машиностроение, 1979. – 510с.
2. Горский А.И. Расчет машин и механизмов автоматических линий литейного производства / Горский А.И. – М.: Машиностроение, 1978. – 551с.
3. Могилевцев О.А. Компьютерное моделирование работы встряхивающих механизмов формовочных машин / О.А.Могилевцев, А.А.Тонконог // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2010. – № 2 (123). – С.96-98.
4. Могилевцев О.А. Пакет программ для моделирования работы встряхивающих механизмов формовочных машин / О.А.Могилевцев, А.А.Тонконог // Литье-2010: VI Междунар. науч. конф., 21-23 апреля 2010 г.: материалы конференции. – Запорожье, 2010. – С.34-37.

Поступила в редколлегию 13.02.2013.