

УДК 621.791.927.7

В. В. Рубанов, д-р техн. наук, проф., **С. Д. Колотиенко**, д-р техн. наук, проф.
Донской государственной технической университет, Россия
E-mail: prepodtkm@donstu.ru

ИЗНАШИВАНИЕ НАПЛАВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ТРЕНИИ СКОЛЬЖЕНИЯ О ПЛАСТИЧЕСКИ ДЕФОРМИРУЕМЫЙ МЕТАЛЛ

Исследовано изнашивание наплавочных износостойких материалов на основе железа, никеля и кобальта в лабораторных условиях, определены диапазоны скоростей и давлений для разработки методики и конструкции установки для исследования механизма изнашивания о пластически деформируемый материал. Исследование механизма изнашивания проводили на разработанной установке. По результатам испытаний построены кривые износа, связывающие значимость величины линейного износа сплавов Ih с продолжительностью испытаний, выраженных через число циклов N . Сравнение изменения скорости и изнашивание сплавов на основе железа, никеля и кобальта видно, что наибольшей износостойкостью обладают сплавы на основе кобальта. Как видно из кривых износа для большинства сплавов имеются перегибы на кривых, когда интенсивность изнашивания до этого незначительная резко возрастает. Так как износостойкость большинства исследованных материалов определяется процессами выкрашивания, то стадия изнашивания, как стадия разрушения поверхностного слоя, включает зарождение микротрещин, их развитие и окончательное разрушение поверхностного слоя.

Ключевые слова: изнашивание, линейный износ, реверсивность скольжения, прерывистый контакт, кривые износа, выкрашивание блоков

V. V. Rubanov, S. D. Kolotienko

WEAR COATING MATERIALS IN SLIDING FRICTION ABOUT PLASTICALLY DEFORMABLE METAL

Studied the wear surfacing wear-resistant materials based on iron, nickel and cobalt in vitro defined ranges of velocities and pressures to develop techniques to design and install studies on the mechanism of wear plastically deformable material. wear mechanism study was conducted on the developed installation. According to the results of wear test curves constructed linking significance value Ih alloys linear wear test with a duration expressed in terms of the number of cycles N . A comparison of the rate of change and aging of alloys based on iron, nickel and cobalt can be seen that greatest wear have a cobalt-based alloys. As can be seen from the curves of wear for most alloys are kinks in the curves when the wear to this slight increases dramatically. Since most of the wear resistance of the materials studied by the processes of pitting, wear the stage as a stage of destruction of the surface layer, including the emergence of microcracks, their development and the final destruction of the surface layer.

1. Введение

Применительно к тяжело нагруженным парам трения, таким как штамповый инструмент, силовые кулаки кузнечно-прессовых автоматов и подобным им изнашивание наплавочных материалов, полученных индукционной наплавкой практически не исследовано.

Б.И. Костецкий [1] отмечает, что в процессе трения одновременно протекают различные процессы и выделяет допустимые (собственно изнашивание) и недопустимые (повреждаемость) процессы изнашивания. В узлах трения машин контактные повреждения [2], схватывание [3] на самом деле не допускаются, поскольку приводят к быстрому износу пары трения. Эти же виды износа как правило присутствуют при работе штампового инструмента и поэтому их не следует считать недопустимыми. В то же время износ в результате разрушения поверхностных вторичных структур [1,4,2], износ отслаиванием тонких поверхностных слоев [4] и подобные им виды изнашивания

не определяют износостойкость штампового инструмента и могут считаться сопутствующими.

Изнашивание рабочей поверхности кулаков кузнечно-прессовых автоматов также развивается в течение короткого времени из-за нагрузок в зоне фрикционного контакта.

Наличие высоких давлений, пластической деформации контртела, существующие при работе прошивных пуансонов для высадки гаек на холодно-высадочных автоматах, обязательно для оценки износостойкости, поскольку такие условия увеличивают истинную площадь контакта, способствуют процессам схватывания и т.д. Кроме того, следует считаться с особенностями относительного перемещения трущихся поверхностей. Это прежде всего прерывистый характер контакта и реверсивность скольжения. В.Д. Евдокимов [5] обосновал, что реверсивность при скольжении не только количественно влияет на износ, но качественно сказывается на процессах изнашивания, увеличивая, к примеру, дефектность структуры, способствуя зарождению и развитию микротрещин.

2. Постановка задачи

В задачу данной работы входит исследование наплавочных твердых сплавов при трении о пластически деформируемый металл.

3. Методика испытаний

Некоторые установки [6-8] моделируют процесс реверсивности скольжения, но их не представляется возможным использовать для испытания штамповых материалов на износостойкость, так как эти установки не обеспечивают пластической деформации материала контртела. Обычные машины трения нельзя использовать, поскольку, даже при обеспечении высоких давлений, на этих установках необходимо постоянно заменять поверхность контртела из-за его пластической деформации на неповрежденную.

Имеются установки [9,10], которые предназначены для испытания штамповых материалов, но, по нашему мнению, ни одна из них не моделирует весь комплекс процессов при обработке металлов давлением.

В связи с этим потребовалось создание новых способов и установки для испытания износостойкости материалов. При этом руководствовались необходимостью обеспечения пластической деформации материала контртела, периодической смены его при каждом прямом ходе образца, прерывистости контакта и реверсивности скольжения.

Для реализации предложенного способа испытаний разработана конструкция установки (рис. 1) обеспечивающая давление в зоне контакта до 2000 МПа, скорости скольжения 0,1-5,0 м/с, и пластическую деформацию контртела и его периодический поворот.

На опорной плите 1 шарнирно укреплено нагружающее коромысло 2, соединенное шарнирно с держателем 3 образца, и регулируемый упор 4. В держателе закреплен образец 5, взаимодействующий с неподвижным контрообразцом 6.

Устройство работает следующим образом. Подвижному образцу 5 сообщается возвратно-поступательное движение. При его контакте с неподвижным контрообразцом 6 их совместное прижатие обеспечивается передачей усилия от сменных грузов 7 через коромысло 2 и держатель 3. При относительном перемещении образцов прямолинейность движения обеспечивается смещением коромысла 2, величина которого определяется зазором между упором 4 и коромыслом. Упор сделан регулируемым, чтобы можно было выставлять минимальную величину зазора, не превышающую 0,1 диамет-

ра подвижного образца, а также регулировать относительное расположение образцов. При выходе подвижного образца из контакта с контрообразцом вся рычажная система под действием усилия сменных грузов получает вертикальное смещение, которое ограничивается упором 4. Этим гарантируется сохранение контакта трущихся образцов при обратном ходе.

При прямом ходе контрообразец 6 пластически деформируется образцом 5, образуя канавку некоторой глубины. Пластическая деформация поверхности контртела приближает условия испытаний к эксплуатационным. Обратный ход образец совершает по канавке, образованной при прямом ходе. По окончании двойного хода образца контрообразец получает поперечное смещение для подвода к месту контакта недеформированного материала.

Общий вид установки для испытаний наплавочных материалов при трении скольжения о пластически деформируемый металл показан на рис.2. Нагружающий рычаг установки выполнен с соотношением плеч 10:1, что позволяет регулировать давление в зоне контакта до 2000 МПа при использовании образца с контактной площадью 5 мм и груза 1000 Н. Длину двойного хода образца можно изменять от 20 до 100 мм, а скорость перемещения в пределах 0,1-5,0 м/с.

Контртело после каждого двойного хода образца поворачивается на угол, равный 3° , что обеспечивает 120 циклов испытаний. Поскольку контрообразец изготавливается в виде диска из стали Ю кп толщиной 10 мм и диаметром 250 мм, то расстояние между деформированными зонами составляет 5-6 мм. После полного оборота контртело снимается, и пластически деформированная поверхность протачивается на токарном станке.

При испытаниях имеется возможность измерять линейный износ рабочей поверхности образца с точностью 0,005 мм по диаметру с использованием щупа, связанного с индуктивной измерительной катушкой, на приборе БВ-662.

Образец для испытаний изготавливался из стали У8А путем наплавки исследуемых материалов на его цилиндрическую часть в холодном тигле. Шлифование рабочей поверхности образца проводилось после термической обработки, выполненной по режимам для стали У8А. Имея шестигранник в качестве посадочного места для закрепления в держателе, образец может использоваться шесть раз при проведении испытаний.

Механизм изнашивания образцов исследовался путем профилографирования изношенной поверхности, изучения процессов разрушения структуры наплавленного слоя с применением оптической и электронной микроскопии.

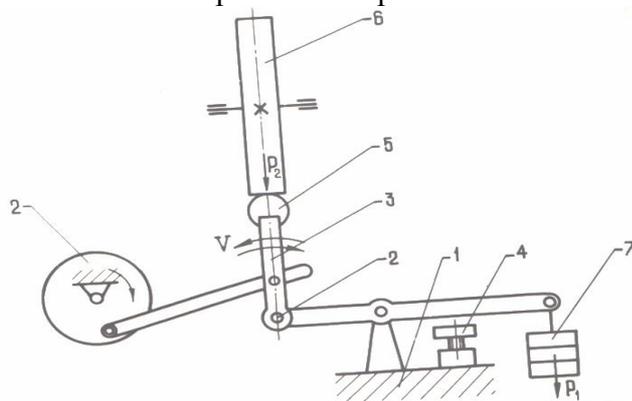


Рис. 1. Схема способа испытаний материалов на износостойкость при реверсивном трении о пластический деформируемый металл

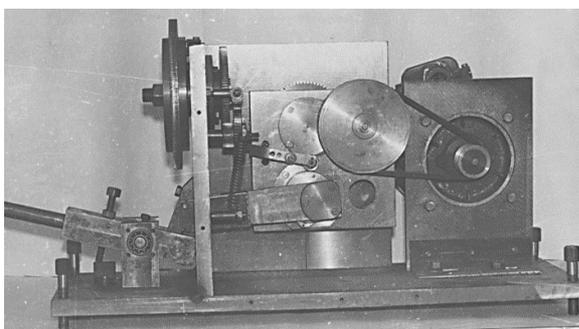


Рис. 2. Общий вид установки

4. Результаты эксперимента и их обсуждение

Изучение процесса изнашивания исследуемых наплавочных материалов проводили на разработанной установке при давлении, равном 500 МПа и скорости скольжения 0,5 м/с. По результатам испытаний построены кривые износа (рис.3), связывающие зависимость величины линейного износа сплавов с продолжительностью испытаний, выраженной через число циклов N . Изнашивание прекращали, когда износ составлял 250 мкм.

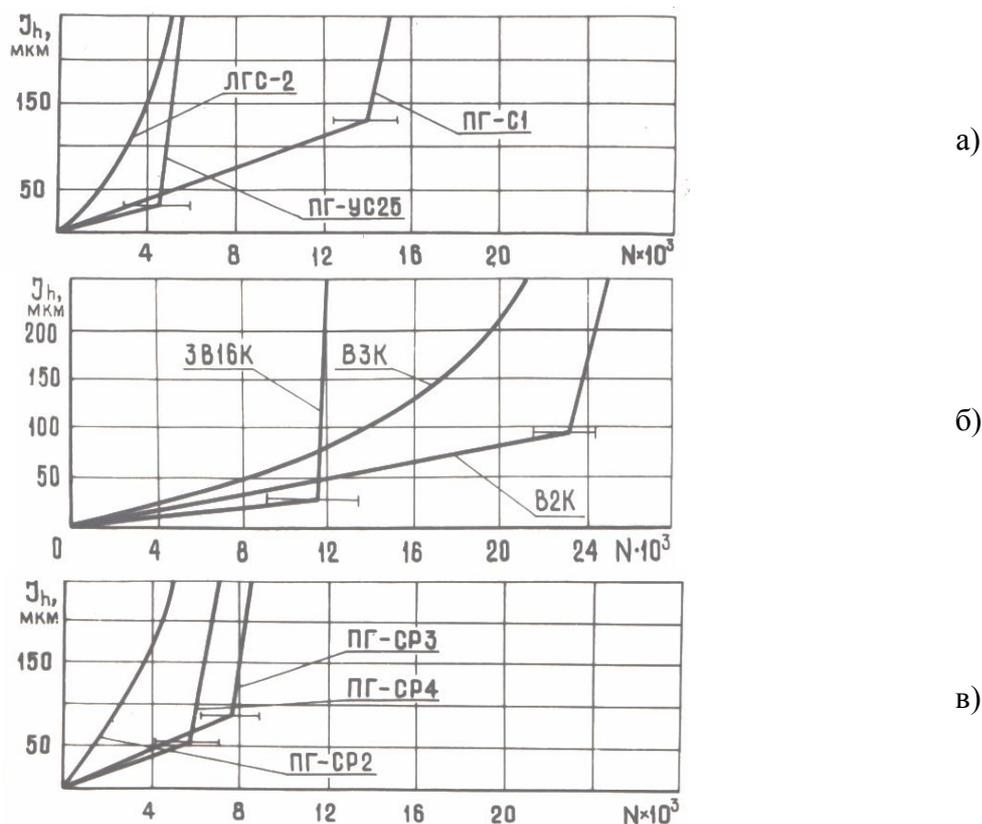


Рис. 3. Зависимость величины линейного износа сплавов на основе железа (а), кобальта (б) и никеля (в) от продолжительности испытаний ($p=500$ МПа, $V=0,5$ м/с)

На рис. 3а показано изменение линейного износа от времени испытаний для сплавов на основе железа. Характер кривых у исследованных материалов примерно одинаков. После некоторого числа циклов на кривых износа наблюдается перегиб, после которого скорость изнашивания возрастает. У сплава ПГ-УС25 (рис. 3а) этот пере-

гиб выражен более резко. У сплава ЛГС-2 перегиб отсутствует. Изменение скорости изнашивания у сплава ПГ-С1 наблюдается после $14,0 \cdot 10^3$ циклов, у ПГ-УС25 - после $4,5 \cdot 10^3$, а у сплава ЛГС-2 через $4 \cdot 10^3$ циклов. Несмотря на то, что у сплава ПГ-УС-25 начальная скорость изнашивания наименьшая, его средняя износостойкость мала и сравнима с износостойкостью сплава ЛГС-2.

Зависимость величины линейного износа от продолжительности испытаний для сплавов на кобальтовой основе (рис. 3б) показывает, что резкое увеличение скорости изнашивания (через $23 \cdot 10^3$ и $11 \cdot 10^3$ циклов соответственно) характерно для сплавов В2К и ЗВІ6К. Для сплава В3К перегиба на кривой износа не наблюдается, однако достижения максимального износа этого сплава происходит за более короткое время, чем у сплава В2К. Наибольшей износостойкостью из кобальтовых наплавочных материалов отличается сплав В2К, наименьшей - сплав ЗВІ6К, несмотря на то, что у него сначала скорость изнашивания наименьшая.

Кривые износа никелевых сплавов показаны на рис. 3в. Наибольшую износостойкость имеет сплав ПГ-СР3 (около $8,5 \cdot 10^3$ циклов) при перегибе, наступающем через $7,5 \cdot 10^3$ циклов. Наименьшая износостойкость у сплава ПГ-СР2 ($5 \cdot 10^3$ циклов) при этом скорость изнашивания увеличивается постепенно и перегиба на кривой износа не наблюдается.

Сравнивая изменение скорости изнашивания сплавов на основе никеля, кобальта и железа видно, что наибольшей износостойкостью обладают сплавы на основе кобальта. Минимальной износостойкостью характеризуются как заэвтектические сплавы ПГ-УС25, ЗВІ6К, имеющие твердость более 58 НR_c, так и доэвтектические сплавы ЛГС-2, ПГ-СР2 с твердостью до 48 НR_c. Лучший сплав кобальтовой группы - сплав В2К примерно в 2,5 раза имеет выше износостойкость, чем соответствующий сплав на никелевой основе (ПГ-СР3) и в 1,8 раза больше, чем на основе железа (ПГ-С1).

Как видно из кривых износа для большинства сплавов имеются перегибы в кривых, когда интенсивность изнашивания, до этого, незначительная, резко возрастает. Для сплавов с минимальной твердостью интенсивность изнашивания растет без резких скачков, но эти сплавы нецелесообразно использовать при исследуемых условиях - тяжелого нагружения по причине их низкой износостойкости.

Для остальных сплавов можно выделить две основные стадии изнашивания: до и после перегиба кривых износа. На начальной стадии скорость изнашивания имеет постоянную величину и незначительна, на второй стадии - быстро растет. При этом следует отметить, что скорость изнашивания на первой стадии не определяет среднюю скорость изнашивания. Так, у сплавов повышенной твердости в группах (ПГ-УС25, ЗВІ6К, ПГ-СР4) скорость изнашивания наименьшая на первой стадии, но тем не менее, средняя износостойкость мала из-за того, что быстро наступает вторая стадия с максимальной скоростью изнашивания.

Как показывают исследования качественной стороны процессов изнашивания стадии износа не следует выделять по перегибам на кривых износа, так как процессы абразивного изнашивания протекают и после перегиба кривых износа а, например, выкрашивание возникает еще до перегибов. Вероятно, стадии изнашивания целесообразно устанавливать в соответствии с ведущими процессами изнашивания и их сменой. Так как износостойкость большинства исследованных материалов определяется процессами выкрашивания, то стадии изнашивания, как стадии разрушения поверхностного слоя, включают: зарождение микротрещин, их развитие и окончательное разрушение поверхностного слоя.

Выводы.

1) Твердость наплавочных материалов при трении скольжения о пластически деформируемый металл не определяет износостойкость. Она, вероятно, не должна быть менее 50 HRC₃, поскольку при этом увеличивается скорость изнашивания на первой стадии и в то же время не должна быть больше 57 HRC₃, ввиду того, что быстро наступает вторая стадия.

2) Исследования, наиболее продолжительной является стадия развития усталостных микротрещин, которая может достигать 90 % от всего времени испытаний. В связи с этим можно считать, что износостойкость исследуемых наплавочных материалов при трении скольжения о пластически деформированный металл определяется продолжительностью этой стадии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Костецкий Б. И. Износостойкость деталей машин. – Москва-Киев: МАШИЗдат. 1950. – 332 с.
2. K. Endo Gotch. Initiation and progradation of fretting fatigue crack // wear. 1976. – V.38, N. – P. 311–324
3. Поверхностная прочность металлов при трении / Под ред. Б. И. Костецкого. – Киев: Техника, 1976. – 292 с.
4. N. P. Suh An overview of the delamination theory of wear // wear. 1977.-V.44, – № 1. – P. 1–16
5. Евдокимов В. Д. Реверсивность трения и качения машин. – Киев: Техника, 1977. – 284 с.
6. Теллер Л. М. Машины для испытания материалов на трение и износ. –М.: ЦНИИТЭ приборостроения, 1974. – 46 с
7. Понов В. С., Брыков М. И., Пугачев Г. А. Установка для испытания материалов на абразивное изнашивание при возвратно-поступательном движении // Заводская лаборатория. 1975. – Т. 41, № 3. – С. 372–374
8. Трахтенберг Б. Ф. Новые способы испытания материалов на термомеханическую усталость и износ // Заводская лаборатория. 1974. – № 10. –С. 1256–1258
9. Памфилов Е. А. Некоторые вопросы унификации методов испытаний на изнашивание при динамических нагрузках // Стандартизация и унификация средств и методов испытаний на трение и износостойкость. – Москва, 1975.-2.ч. – С. 89
10. Сорокин Г.М., Баулин В.Д., Качанов Е.Т. Установка для исследований процессов трения в условиях пластической деформации металлов // Стандартизация и унификация средств и методов испытаний на трение и износостойкость. – Москва, 1975.-2.ч. – С. 37

Поступила в редколлегию 26.01.2016 г.