

УДК 620.179.112(075.8)

**ВЫБОР МАТЕРИАЛА ВАЛКОВ РЕВЕРСИВНОГО ПРОКАТНОГО СТАНА 160
ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ АЛЮМИНИЕВЫХ
СПЛАВОВ ПРИ ПРОКАТКЕ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ПАРЫ ТРЕНИЯ «РОЛИКОПОДШИПНИК- РОЛИК»**

Бодарева Анастасия Вячеславовна

Студент 6 курса,

кафедра «Технологии обработки металлов»,

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Мельников Э.Л.,

доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки металлов»

Расходы на восстановление изношенных в результате трения деталей машин и механизмов огромны, причем с каждым годом они явно увеличиваются.

Работоспособность деталей машин непосредственно связана с состоянием их поверхностного слоя.

При эксплуатации детали взаимодействуют друг с другом и с окружающей средой. Это приводит к изменению геометрических параметров детали, ухудшению эксплуатационных свойств поверхностного слоя и, как следствие, к потере работоспособности детали вследствие изнашивания рабочих поверхностей валков.

Реновационные технологии, способные восстановить как размеры деталей, так и свойства их поверхностного слоя позволяют значительно сократить себестоимость ремонта узлов и агрегатов, поскольку затраты на восстановление изношенных деталей в большинстве случаев значительно ниже затрат на изготовление новых.

Процесс деформации происходит непосредственно в рабочих валках, вращающихся в подшипниках, установленных в рабочих (задающих) клетях, поэтому валки считаются наиболее изнашиваемым элементом прокатного стана.

К качеству валков предъявляют высокие требования т.к. вращающиеся валки воспринимают давление, возникающее при обжатии металла, и передают это давление на подшипники. Валки представляют собой ступенчатый вал, имеющие рабочую поверхность - бочку диаметром 140мм. и опорные поверхности – шейки, диаметром 60 мм, на которые устанавливаются подшипники качения.

Практика эксплуатации прокатных станов показывает, что самым изнашиваемым элементом задающей клетки является узел конструкции задающего валка, в частности бочка валка и опорные поверхности – шейки под посадку подшипников, которые так и не вырабатывают свой ресурс за период работы.

Возникновение основных видов дефектов, таких как: седловидность, бочкообразность, волнистость и поверхностное выкрашивание, говорят о значительном процессе трения в зоне контакта.

Развитие и совершенствование методов оценки величины износа пар трения является актуальной научно-технической задачей.

Цель данной работы заключается в установлении оптимальных режимов прокатки в сочетании с максимально износостойкими материалами валков.

Основными задачами работы явился выбор наиболее износостойких материалов валков прокатного стана 160 реверсивного, а также исследование величины износа алюминиевых сплавов при прокатке.

Износостойкость материала валков при прокатке является показателем долговечности рабочей поверхности. Для оценки величины износостойкости материала были отобраны четыре марки стали: сталь 45, X2B8МФ, X12МФ, 4X3BMФ.

Данные материалы применяются при изготовлении прокатных валков. В процессе выбора были учтены химические свойства каждой марки, эксплуатационные характеристики, а так же экономическая целесообразность применения в изготовлении прокатных валков.

Для каждого экспериментального образца была проведена серия замеров прочности поверхности, массы и геометрических параметров. Данные, полученные в результате эксперимента необходимы для вычисления массового износа, линейного износа (если это необходимо для оценки), а так же величины пятна контакта ролика машины трения с исследуемым материалом (рис.1).

Суть эксперимента заключается в оценке пятна контакта (истирания) материала при контакте с роликом машины трения.

Машина трения нагружается через рычаг (плечо) грузом, что позволяет надежно закрепить образец в держателе и обеспечить начальный контакт с роликом (твердость ролика 55HRC).

Во время одного цикла нагружения образец подвергается приработке в течение 5 секунд, и дальнейшего истирания в течение периода нагружения. Все образцы нагружаются одинаковым грузом на равные интервалы времени.

Получив пятно контакта по всем материалам, образцы поочередно закрепили в патроне с тем, чтобы измерить глубину пятна контакта индикатором. Полученные данные отражают характер трения, анализ которого поможет снизить величину износа рабочей поверхности валков.

Рассмотрим один из возможных методов уменьшения величины износа поверхности бочки валков прокатного стана.



Рис.1. Машина трения МТ-10:

1-Электродвигатель, 2- груз, 3-образец, 4-рычаг нагружения.

Данные эксперимента сведены в таблицу для последующего анализа, который позволит оценить вид износа и характер трения.

Таблица 1. Данные эксперимента

Марка стали	Твердость, HRC	Начальная масса, г	Конечная масса, г	Массовый износ, г	Глубина пятна контакта h_1 , мм
1. Сталь 45	14...16	18,256	18,102	0,154	17
2. X12MФ	11...13	33,558	33,326	0,232	19
3. X2B8MФ	24...26	19,656	19,414	0,242	21
4. 4X3BMФ	12...15	23,320	23,014	0,306	23

Проанализировав полученные в ходе эксперимента данные, была выявлена графическая зависимость твердости материала от глубины контакта.

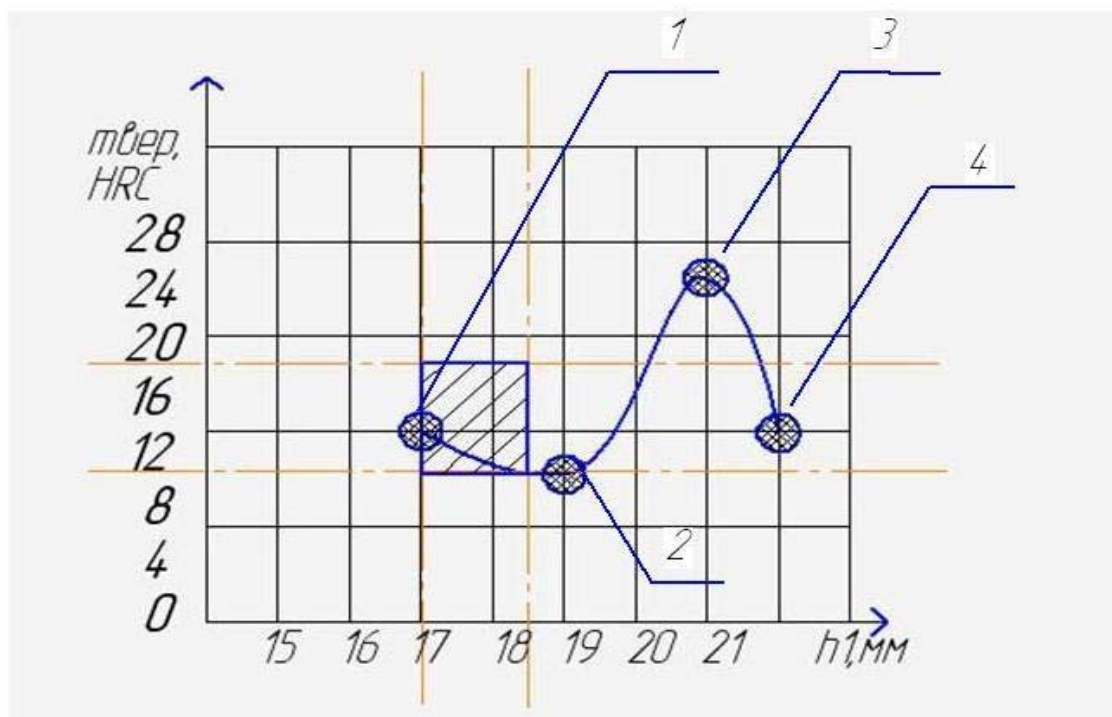


Рис.2. Графическая зависимость твердости материала от глубины пятна контакта (h_1):

1- сталь 45, 2- X12MФ, 3- X2B8MФ, 4- 4X3BMФ.

Из графика видно, что образцы сталь 45 и X12MФ, попавшие в доверительный интервал по обоим параметрам более остальных подходят для использования в изготовлении валков прокатного стана рассчитанного на условия холодного проката и основные виды износа.

Наряду с оценкой износа необходимо оценить возможность устранения, а на начальном этапе уменьшения величины износа рабочих поверхностей, в данном случае объектом эксперимента является износостойкость алюминиевых сплавов при прокатке.

В качестве входных параметров эксперимента были учтены условия работы стана, обрабатываемый материал и характер образования величины износа испытываемых образцов.

Оценка величины износа проводится измерением геометрических параметров пятна контакта образца с твердосплавным роликом. Значение величины U_L позволяет сделать выводы о наиболее подходящем материале. Наиболее износостойкий материал дает минимальное пятно контакта и значение U_L .

Для эксперимента выбраны образцы пары трения «ролик – алюминиевый образец» (рис.3). Ролик изготовлен из стали У8А (HRC= 58-62), образцы изготовлены из алюминиевых сплавов марок АМг6, АМг2, АД1 и Д16.

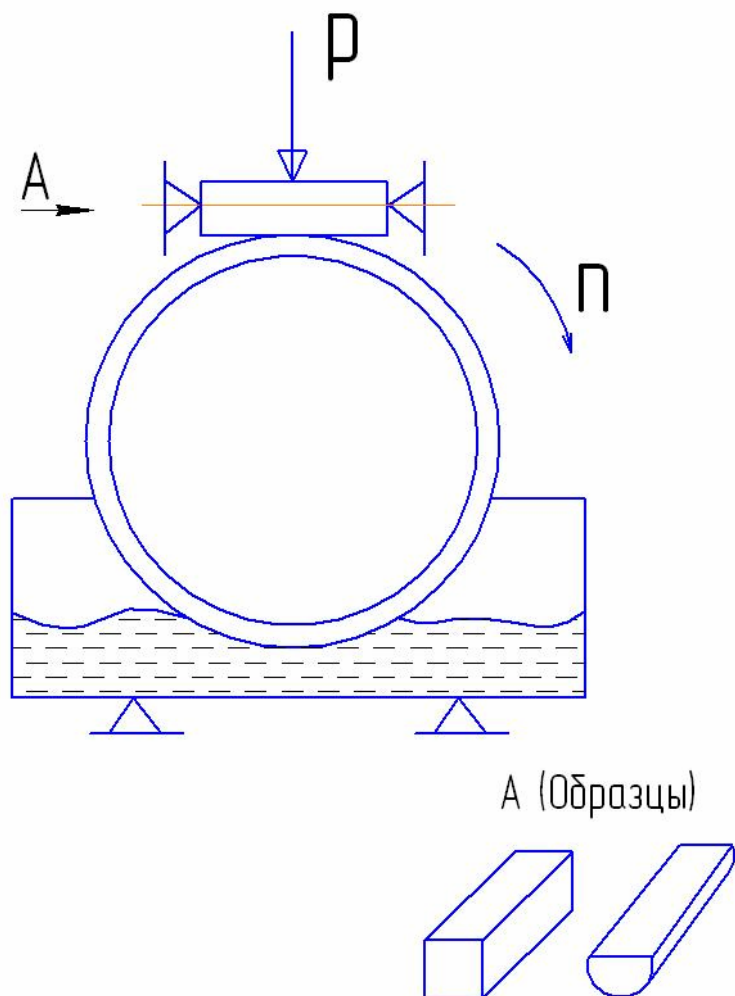


Рис.3. Схема установки образца в машине трения.

Оптимальный выбор режимов испытаний приведен в табл.2. Параметры работы машины трения имеют принципиальное значение для проведения эксперимента в условиях, наиболее близких к прокатке.

Таблица 2. Параметры испытаний

<i>Параметр</i>	<i>Значение</i>
<i>Нагрузка при приработке, Н</i>	<i>279</i>
<i>Время приработки, с</i>	<i>5</i>
<i>Рабочая нагрузка, Н</i>	<i>594</i>
<i>Время испытаний под рабочей нагрузкой, с</i>	<i>60</i>
<i>Частота вращения ролика, об/мин</i>	<i>500</i>
<i>Температура окружающей среды, °С</i>	<i>23</i>

Выбор материала пары трения основан на подобию по химическому составу с эталоном.

Для проведения максимально точного эксперимента отобраны группы образцов каждой марки алюминиевых сплавов.

Критерием выбора является химический состав и частота применения этих сплавов при прокатке.

Эксперимент включает в себя несколько этапов.

Первый этап- выбор материала. Материал образцов подобен по химическому составу с прокатываемым, с той разницей, что образцы в эксперименте имеют соответственно большую и меньшую твердость.

Для серии экспериментов выделено по четыре образца каждой марки алюминия, с тем, чтобы первый образец в группе был подвергнут механическому воздействию ролика без смазки, второй с применением базового масла Lukoil с добавлением различной концентрации присадки «Валена» (см. табл. 3), третий образец с добавлением присадки Synthetic Metal Treatment (SMT) и последний образец в группе был испытан с базовым маслом Lukoil и прокатной смазкой Blasfom.

При осуществлении прокатки алюминиевых материалов существует необходимость выбора схемы с применением смазки или с ее отсутствием.

Второй этап- измерение рабочей температуры.

Машина трения устанавливается в рабочее положение, груз закреплен на подвесе через систему рычагов, с тем, чтобы первоначальный контакт был оптимальным. Данные измерения температуры проводятся последовательно – по три замера в период нагружения одного образца с помощью термопары.

Образцы показывают величину износа от минимального до максимального значения в зависимости от выбранной композиции базового масла и присадки.

В табл.4 приведены характеристика образцов и результаты эксперимента - температура (начальная, промежуточная и конечная), геометрические параметры пятна контакта, значение Ул и вид применяемой смазки.

В эксперименте использованы композиции масла и присадки с различной концентрацией для установления оптимального соотношения между ними.

В состав базового масла Lukoil с маркировкой по SAE 10W-40 API SF/CC входят: синтетические углеводороды, антиоксидант, функциональные добавки, составляющие ноу-хау компании производителя. Маркировка масла по SAE была введена ассоциацией автомобилистов Соединенных Штатов Америки для отражения эксплуатационных свойств, вязкости, химического состава и стандартов изготовления. Наряду с SAE 10W-40 существуют маркировки 40W-75, 10W-30 и т.п.

Таблица 3. Концентрация присадки

Номер	Базовое масло (мл)	Марка Масла	Присадка (мл)/(г)	Концентрация
1	Lukoil (100)	Lukoil Standard SAE 10W-40 API SF/CC	<i>SMT (10)</i>	<i>1:10</i>
2			<i>Blasfom (30)</i>	<i>3:10</i>
3			«Валена» /(20)	<i>1:5</i>
4			«Валена 1» /(10)	<i>1:10</i>
5			«Валена 2» /(25)	<i>2,5:10</i>
6			«Валена 3» /(35)	<i>3,5:10</i>

Таблица 4. Данные эксперимента

Марка	Химический состав	№	температура / время			геометрия			Износ Ул	Вид смазки
			t1/ (с)	t2/ (с)	t3/ (с)	L	b	h		
AMr6	Cr<0.1 Cu<0.1 Fe=0.2 Mg=5 Mn=0.5 Si<0.1	1a	20/ (5)	68/ (55)	70/ (с)	10	9	0,5	7,312	<i>Без смазки</i>
		2a	38/ (5)	46/ (55)	47/ (60)	5	7	0.4	2,275	<i>Lukoil + SMT</i>
		3a	31/ (5)	45/ (55)	45/ (60)	6	7	0.4	2,734	<i>Lukoil + Blasfom</i>
		4a	30/ (5)	45/ (39)	45/ (60)	6	8	0.4	3,121	<i>Lukoil +</i> <i>«Валена»</i>
AMr2	Cr=0.014 Cu ---- Fe=0.97 Mg=1.38 Mn=0.030 Si=0.054	1b	60/ (11)	83/ (35)	109/ (60)	6	6	0.5	2,925	<i>Без смазки</i>
		2b	31/ (11)	36/ (35)	41/ (60)	7	6	0.2	1,365	<i>Lukoil + SMT</i>
		3b	26/ (11)	27/ (35)	27/ (60)	4	3	0.2	0,397	<i>Lukoil +</i>

										«Валена»
АД1	Cr ----	1с	24/ (2)	36/ (6)	52/ (9)	9	9	0.5	2,925	Без смазки
	Cu --- Fe<0.1	2с	27/ (9)	28/ (29)	28/ (60)	4	5	0.2	0,651	Lukoil + SMT
	Mg --- Mn --- Si ---	3с	29/ (9)	27/ (29)	30/ (60)	4	3	0.2	0,391	Lukoil + Blasfom
Д16	Cr<0.1	1d	23/ (2)	47/ (6)	62/ (9)	12	9	0.5	8,775	Без смазки
	Cu=3...4	2d	31/ (2)	34/ (23)	34/ (60)	5	7	0.3	1,694	Lukoil + SMT
	Fe=0.2 Mg=1...1.5 Mn=0.8 Si ---	3d	29/ (9)	30/ (29)	29/ (60)	3	4	0.2	0,398	Lukoil + «Валена»
		4d	31/ (10)	35/ (23)	32/ (60)	4	6	0.2	0,782	Lukoil + Blasfom

Из табл.4 следует, что наибольшая износостойкость и наивысшая температурная стойкость установлена для АМг6 – «Lukoil + SMT», для АМг2 – «Lukoil + Валена», для АД1 – «Lukoil+Blasfom», для Д16 - «Lukoil+ Валена».

Третий этап – подвод ионизированного воздуха в трибосопряжение.

Процесс осуществляется с помощью устройства охлаждения ионизированным воздухом (УОИВ) (рис.4).

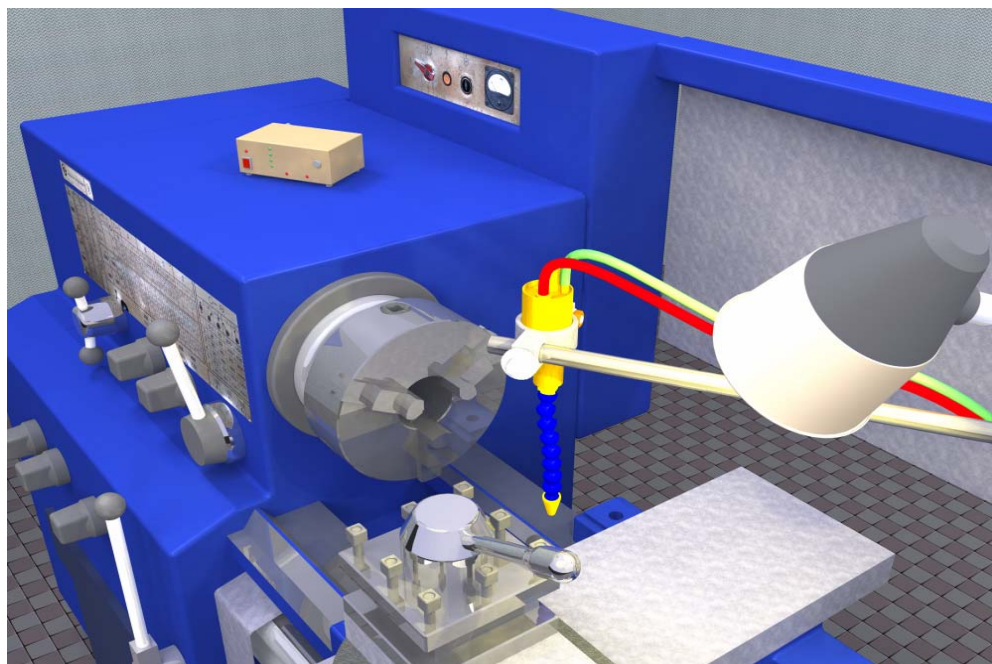


Рис.4. Модель станка 16K20 с модернизированной системой охлаждения.

Принцип действия устройства основан на перераспределении энергии сжатого воздуха между двумя потоками, образующимися в вихревой трубе при его расширении и последующей ионизации холодного потока коронным разрядом (рис.5).



Рис. 5. УОИВ с дистанционным пультом управления, установленные на станке.

Далее, слабоионизированный воздух под давлением подаётся непосредственно в зону контакта. В результате происходит охлаждение ролика и образца, а так же образование на контактных поверхностях защитных окисных наноплёнок.

Эффективность процесса трения в среде ионизированного охлаждённого воздуха обеспечивается за счёт его значительного влияния на контактное взаимодействие ролика с испытываемым образцом и окружающей средой во всём интервале температур. Создание искусственных окисных наноплёнок путём химико-термического окисления является экономичным способом повышения износостойкости.

Таблица 5. Данные эксперимента с подводом ионизированного воздуха

Марка	Химический состав	№	температура			геометрия			Износ Ул	Вид смазки
			t1	t2	t3	L	b	h		
АМг6	Cr<0.1 Cu<0.1 Fe=0.2 Mg=5 Mn=0.5 Si<0.1	1a	20	68	70	10	9	0,5	7,312	Без смазки
		2a	38 (5)	46 (55)	47 (60)	5	7	0.5	4,375	Lukoil + SMT
		3a	31 (5)	45 (55)	45 (60)	6	7	0.5	5,257	Lukoil + Blasfom
		4a	30 (5)	45 (39)	45 (60)	6	8	0.5	3,901	Lukoil + «Валена»
		5a	37 (5)	128 (55)	131 (60)	10	9	0.3	4,387	Охлажденный воздух без смазки
		6a	21 (0)	26 (5)	65 (60)	7	6	0.2	1,365	Ионизированный воздух
			24 (0)	29 (55)	27 (60)	4	5	0.1	0,325	Lukoil + «Валена2» + Иониз.воздух

В табл. 5 приведены результаты экспериментальных данных для алюминиевого сплава АМг6 как наиболее стойкого к износу с учетом повышенной концентрации и подачи в зону трибосопряжения ионизированного воздуха от модернизированной установки станка 16К20.

В сравнении с широко применяемыми в настоящее время масляными и водосмешиваемыми жидкостями, воздух, как хладагент обладает рядом преимуществ: нетоксичен, доступен, дешёв, может быть использован в широком диапазоне температур.

Работа по модернизации системы охлаждения металлорежущих станков позволяет встроить УОИВ в действующие системы охлаждения с возможностью работы как с охлаждением воздухом, так и с применением водосмешиваемых СОЖ или одновременно применение УОИВ и СОЖ.

УОИВ было успешно внедрено более чем на 25 предприятиях стран СНГ, получило хорошие отзывы и предложения к сотрудничеству.

Сравнительные характеристики по термостойкости для сплава АМг6 дают возможность определить значения и характер изменения температуры при различных композициях (рис. 6).

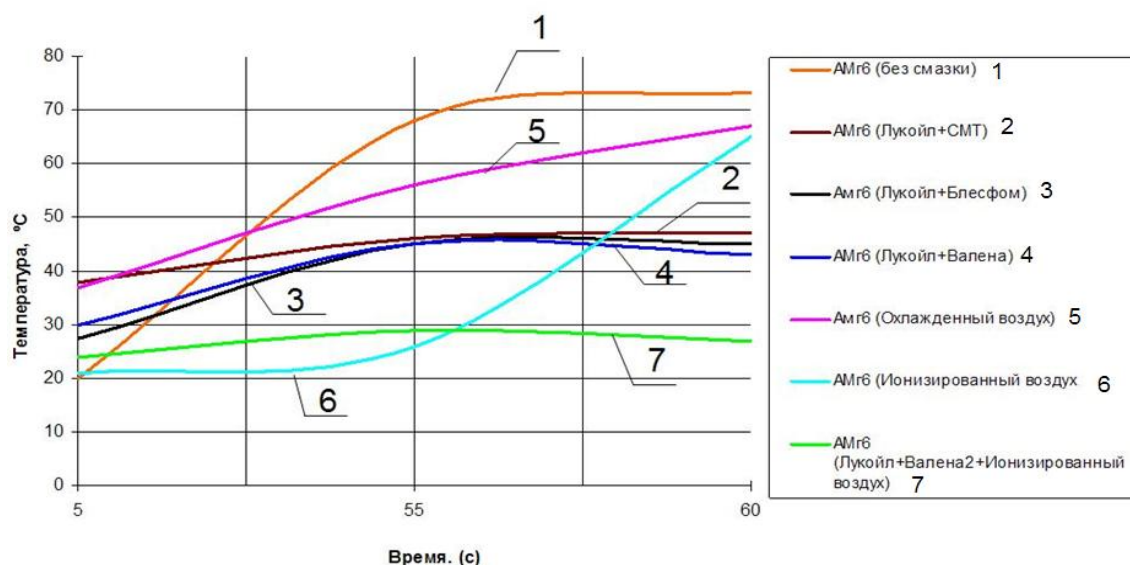


Рис.6. Сравнительная характеристика рабочих температур для сплава АМг6.

В результате проведения эксперимента были отобраны пробы базового масла до испытания и после, которые были подвергнуты спектральному анализу на спектрометре Spectroil M (рис.5). с целью определения химического состава частиц износа образцов алюминиевых сплавов в исследуемых композициях смазочных материалов. Spectroil M –стационарный оптический эмиссионный спектрометр, который спроектирован для анализа металлов в смазочном масле и/или топливе. Это аналитический инструмент, который количественно определяет присутствие элементов, находящихся или в виде небольших частиц суспензии или растворенных в минеральных или синтетических нефтяных продуктах.



Рис.7. Внешний вид спектрометра Spectroil M.

Спектрометрический анализ пробы проводится с целью определения концентрации поступающих в масло частиц металла при износе пар трения.

Spectroil M использует принцип оптической эмиссионной спектроскопии (ОЭС). Это позволяет наличие различных элементов в материале. ОЭС использует тот факт, что каждый элемент имеет уникальную атомную структуру. Когда объекту передается добавочная энергия, каждый элемент испускает свет специфической длины волны, или цвета. Таким образом, не существует двух элементов с одинаковыми спектральными линиями, поэтому элементы могут быть идентифицированы. Интенсивность излучения пропорциональна количеству элемента, присутствующего в образце, таким образом, определяется концентрация элемента.

Все оптические спектрометры состоят из трех элементов:

- 1.Источник возбуждения (вводит энергию в пробу),
- 2.Оптическая система (разделяет и преобразует возникшую от возбуждения эмиссию в определенный набор длин волн),
- 3.Считывающая система (определяет и измеряет характеристики света, который разделен на компоненты по длине волны оптической системой и представляет оператору информацию в виде, пригодном для использования);

Источником возбуждения в современных спектрометрах является электрический разряд. Источник предназначен для передачи энергии, генерируемой в электрической дуге или искре, в пробу.

Электрический заряд создает высокотемпературную электрическую дугу, в результате чего часть пробы испаряется, образуя плазму (высокоионизированный газ, испускающий свет). Свет, получаемый в результате этого процесса, состоит из излучения всех элементов, присутствующих в пробе. Эти излучения разделяются на индивидуальные волны и замеряются.

Задача оптической системы состоит в разделении света, идущего от плазмы в дискретные волны, из которых он состоит.

Большинство людей знакомы с явлением (рис.8), в котором призма используется для превращения луча из белого света в спектр различных цветов или (длин) волн. Такой же принцип применяется и в спектрометре, за исключением того, что вместо призмы для разделения дискретных волн используется оптическое приспособление, называемое дифракционной решеткой.

Важно рассмотреть ту часть спектра, где находятся интересующие нас длины волны. Много элементов испускают свет в видимой части спектра.

Однако существуют элементы, которые излучают главным образом ультрафиолетовую часть спектра (F U V).

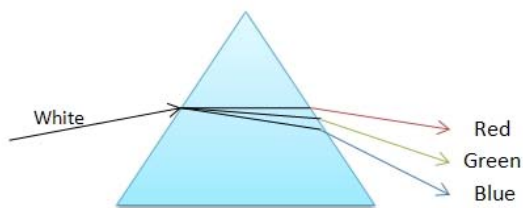


Рис.8. Разложение света в призме.

Считывающая система работает по принципу разделения света на составляющие линии с помощью дифракционной решетки, которая направляет его спектральные линии на фотодетектор (фиксатор света от решетки). Фотодетекторы – электронные вакуумные трубки, которые определяют и преобразуют свет в электрический сигнал.

Spectroil M – дуговой эмиссионный спектрометр, в котором используется вращающийся графитовый дисковый электрод. Вращающийся графитовый электрод (рис.9), обеспечивает попадание пробы в дуговой разряд чтобы создать плазму для анализа.

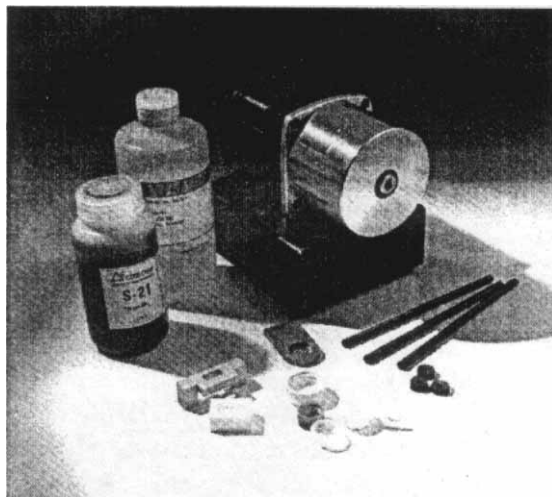


Рис.9. Стандартные образцы, электроды, ванночки для проб, крышки и устройство для заточки стержневых электродов.

Свет, который генерируется в аналитическом зазоре, обрабатывается в оптической системе и преобразуется в форму, удобную для считывания. Эта функция осуществляется компьютерной системой прибора.

При анализе проб масла, полученных в результате истирания образцов АМг6, АМг2, Д16 и АД1 в машине трения МТ-10, получены данные о концентрации элементов в отработанном масле (рис. 10).

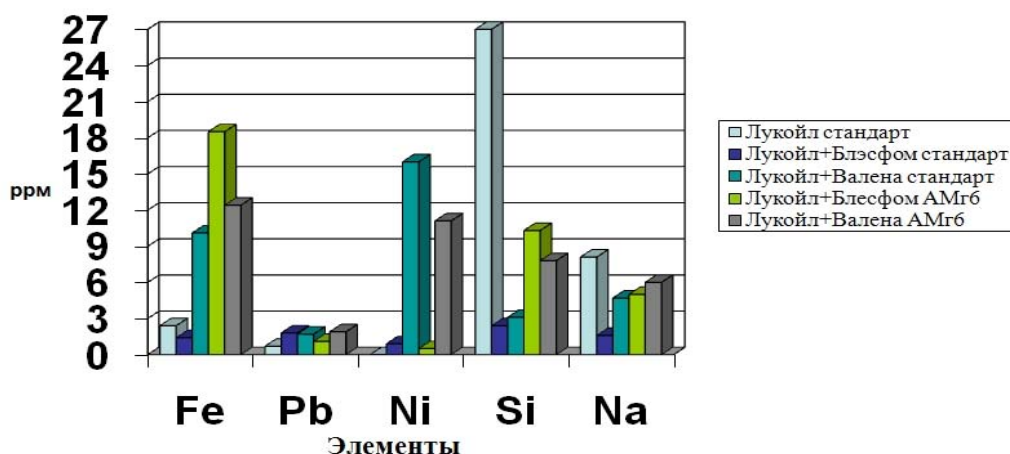


Рис.10. Сравнительная характеристика химического анализа проб масла для сплава АМг6.

Ррм- количество частиц химического элемента в долях на миллион.

Анализ результатов данных о пробах масла показал, что фактическая концентрация вредных элементов (Si, Na) незначительна, концентрация же полезных элементов (Pb, Cu, Ni, Fe) не превышает 18 ррм. Элемент меди в пробах отработанного масла представлен на графике (рис.11).

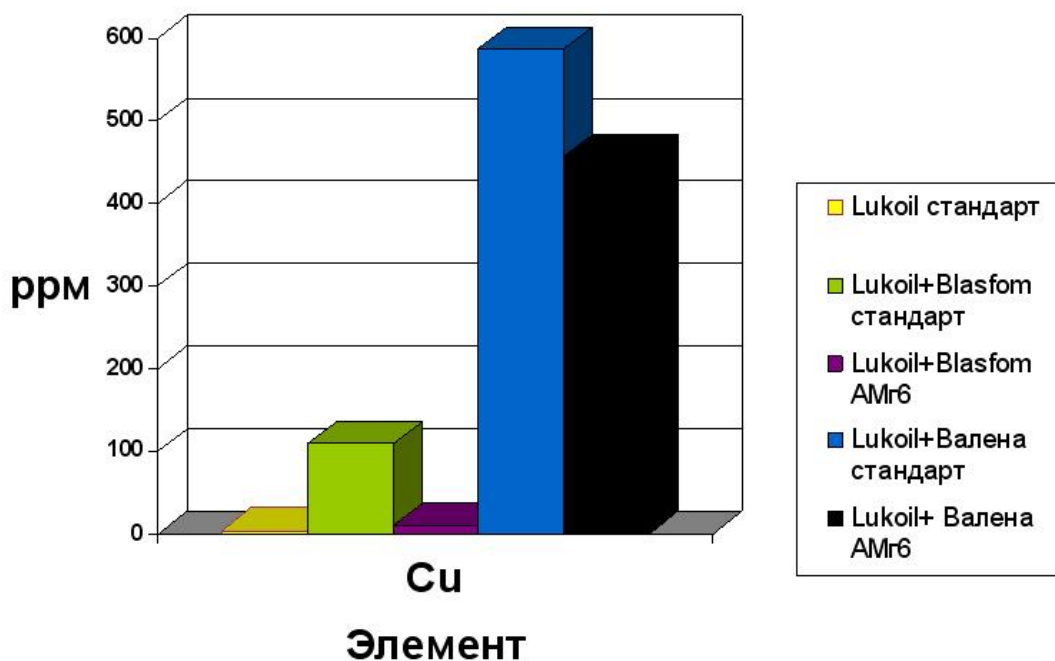


Рис.11. Сравнительная характеристика содержания Cu в сплаве АМг6.

Содержание Cu в пробах масла не превысило 585 ррм для композиции Lukoil+«Валена» в стандартной пробе до истирания, и не превысило 463 ррм в пробе отработанного масла для алюминиевого сплава АМг6.

Выводы:

1. Из проведенных работ установлено, что наиболее оптимальным материалом валков прокатного стана является сталь 45 или материал Х12МФ.

2. Сравнительные исследования смазочных композиций показали, что оптимальными по износостойкости и температуре являются: АМг6 – «Lukoil + SMT», для АМг2 – «Lukoil + Валена», для АД1 – «Lukoil+Blasfom», для Д16 - «Lukoil+Валена».

3. Установлена оптимальная концентрация «Валена» с смазочной композиции, она составляет 2..4%.

4. Для наиболее износостойких алюминиевого сплава АМг6 получены данные по температуростойкости различных смазочных композиций: «Lukoil + SMT», Lukoil + Валена», «Lukoil+Blasfom», «Lukoil+Ионизированный воздух», «Lukoil+Охлажденный воздух», «Lukoil+«Валена2»+Ионизированный воздух».

Наивысшая температуростойкость получена при композиции «Lukoil+«Валена2»+Ионизированный воздух».

5. Исследования на спектроиле Spectroil М показали наивысшую концентрацию меди в пробе отработанного масла композиции «Lukoil + Валена» для сплава АМг6.

Литература.

1. Д.Н. Гаркунов, Э.Л. Мельников, В.С. Гаврилюк. Триботехника. М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2008.-308 с.;
2. А.Ф. Аксенов, Износостойкость авиационных топливно-гидравлических агрегатов. М.: Транспорт, 1986.-240 с.
3. Д.Н. Гаркунов. Триботехника. Износ и безызносность. Учебник для вузов. — М.: Издательство МСХА, 2001.-614 с.
4. Елисаветин М.А., Сатель Э.А. Технологические способы повышения долговечности машин. М.: Машиностроение, 1979. 438с.
5. Ремонт восстановление и модернизация: журнал/ В.С.Гаврилюк.-М.: Наука и Технология, 2010, №6. -135 с.
6. В.Б.Есов, К.О. Климочкин. Модернизация системы охлаждения металлорежущих станков с применением устройства охлаждения ионизированным воздухом (УОИВ). /Статья. М.: Ремонт восстановление и модернизация, 2011, №1. -127 с.