

УДК 669.14.017.252.3

А.Н. Мороз <sup>(1)</sup>, ст. научн. сотрудник

А.А. Глотка <sup>(1)</sup>, доцент, к.т.н.

В.Р. Боляк <sup>(2)</sup>, зав. лабораторией

В.Н. Терехов <sup>(2)</sup>, вед. научн. сотрудник

## ВЛИЯНИЕ КАРБИДНОЙ ФАЗЫ НА ИЗНОС СТАЛИ 110X18M

<sup>(1)</sup> Запорожский национальный технический университет,

<sup>(2)</sup> ГП «УкрНИИ Спецсталь», г. Запорожье

Розглянуто вплив карбідної фази на знос сталі 110X18M. Виявлено закономірності змінювання величини зношення від кількісних факторів фази, що зміцнює. Рекомендовано інтервал об'ємного вмісту карбідів у межах 18...21 % за середньої відстані між карбідами більше ніж 8,0 мкм, що призводить до мінімальних показників ступеня зносу.

Ключові слова: підшипникова сталь 110X18M, карбідна складова, знос, міжкарбідна відстань, розмір карбідів

Рассмотрено влияние карбидной фазы на износ стали 110X18M. Выделены закономерности изменения величины износа от количественных факторов упрочняющей фазы. Рекомендован интервал объемного содержания карбидов в пределах 18...21 % при среднем расстоянии между карбидами более 8,0 мкм, что приводит к минимальным показателям степени износа.

Ключевые слова: подшипниковая сталь 110X18M, карбидная составляющая, износ, межкарбидное расстояние, размер карбидов

It is considered Influence of carbidic phase at wear steel 110X18M. Patterns of change of the wear volume from the quantitative factors of consolidating phase are distinguished. The interval of volume content of carbides within the limits of 18...21 % at middle distance between carbides more than 8.0 mcm, that results in the minimum indexes of wear degree is recommended.

Keywords: bearing 110X18M steel, carbidic constituent, wear, intercarbide distance, size of carbides

*Введение.* Вследствие недостаточно обоснованного выбора материалов для подшипников сроки службы машин и агрегатов уменьшаются, возрастает количество ремонтных работ, а также потери вырабатываемого продукта из-за дополнительных простоев оборудования. Конструкции подшипников разрабатываются исходя из свойств материалов таким образом, чтобы свести к минимуму или полностью устранить вредное влияние отрицательных характеристик (хрупкость, низкая теплопроводность, гигроскопичность, нестабильность размеров во времени и др.) и наиболее полно использовать низкий коэффициент трения (смазку) и высокую износостойкость материала. В то же время при работе подшипников с высокими нагрузками отсутствуют условия для образования гидродинамической смазки. Смазочное вещество выдавливается из зоны трения, особенно когда нагрузка приближается к пределу текучести материала.

При выборе материала для подшипников основное значение имеет их износостойкость, а, следовательно, срок службы. Износ опорных поверхностей подшипников

сверх допустимой величины нарушает точность взаимного расположения вала с рабочими органами и корпуса, приводит к его динамической неустойчивости и вибрации, возможности разрушения подшипника на ходу. Износ увеличивается с повышением давления (контактных напряжений), а коэффициент трения снижается либо остается постоянным до критического значения, соответствующего катастрофическому износу. Физико-механические свойства материала подшипника должны обеспечивать наиболее высокую износостойкость и упругий контакт при трении, минимальный коэффициент трения, отсутствие склонности к задирам, а также хорошую прирабатываемость.

*Анализ достижений.* В процессе работы подшипники находятся под воздействием высоких знакопеременных напряжений. Каждый участок рабочей поверхности, шарика или ролика, а также дорожки колец, испытывают многократные нагружения, распределяющиеся в пределах очень небольшой опорной поверхности. В результате на каждом участке возникают местные контактные знакопеременные напряжения порядка  $3...5 \text{ МН/м}^2$  [1,2], сжимающие на поверхности контакта и растягивающие у ее контура. Напряжения вызывают упругую и незначительную остаточную деформации элементов подшипника, и в некоторых случаях область напряжения соизмерима со структурными составляющими. Многократное повторение деформации приводит к появлению усталостных трещин, выкрашиванию поверхности подшипника, в результате чего при качении возникают удары, под действием которых разрушения усиливаются и подшипник выходит из строя [3]. Помимо усталостного разрушения, дорожки колец подшипника и сами тела качения (шарики и ролики) подвергаются износу [4,5]. Причиной износа являются тангенциальные напряжения, вызываемые силами трения при скольжении контактирующих поверхностей. В результате истирания от поверхности металла отделяются тонкие чешуйки, что вызывает увеличение зазора между кольцами и телами качения и усиление абразивного износа [6,7].

Как известно [8], свойства, определяющие поведения металла в условиях эксплуатации подшипников (контактная выносливость, износ, сопротивление развитию трещин), зависят от ряда структурных параметров подшипниковых сталей (природы, количества и размера неметаллических включений; карбидной неоднородности; размера зерна). Эти параметры определяются технологией производства.

С физической точки зрения основной составляющей стали, оказывающей влияние на эксплуатационные характеристики, являются крупные первичные карбиды, поэтому выдвигаются требования по ограничению их максимального размера (не более 15 мкм) [9]. Однако, количественные данные о степени влияния карбидов разных размеров на износостойкость стали 110X18M малочисленны и не систематизированы.

*Постановка задачи.* Задачей настоящей работы являлось определение влияния количественных показателей карбидной составляющей стали 110X18M на степень износа.

*Материал и методика исследования.* Материалом для испытаний была выбрана шарикоподшипниковая сталь марки 110X18M промышленных партий, которые производили по различным технологическим вариантам. Шлифы изготавливали с использованием образцов, прошедших испытание на износ согласно методике ВНИИШПа (инструкция И 22-54-45-73). Были выбраны образец V типа с рабочим диаметром 3,5 мм и контртело III типа с рабочим диаметром 35 мм. Испытанию подвергали образцы в количестве 120 штук с различной степенью износа. Скорость испытания составляла 1,0 м/с при нагрузке 5 кг в течение 5 ч, после чего в паре качения полностью

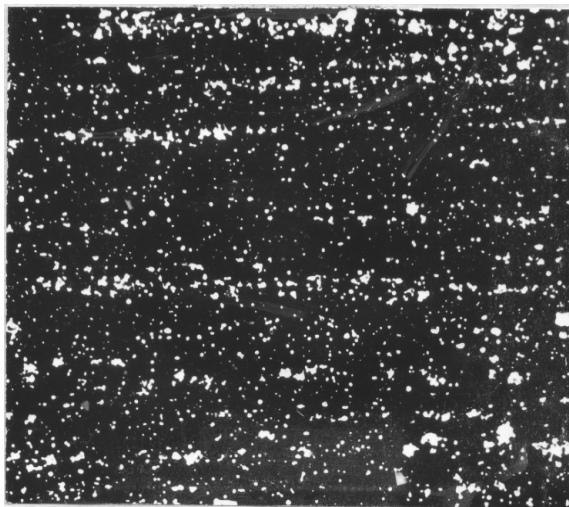
завершается процесс приработки, а уровень износа образца достигает величины, измеряемой современными средствами. В качестве критерия износа было выбрано изменение величины рабочего диаметра образца после испытаний  $\Delta D$  [3].

Травление образцов стали осуществляли в смеси, состоящей из 4 %-го спиртового раствора азотной кислоты и насыщенного водного раствора тиосульфата натрия.

Количественный анализ карбидов производили на структурном анализаторе «Эпиквант» при увеличении  $\times 250$ . Для повышения чувствительности порог дискриминации был снижен с 5,0 до 2,5 В. Скорость сканирования составляла  $20 \text{ мкм}\cdot\text{с}^{-1}$  по полю размером  $1,8 \times 1,8 \text{ мм}$ , ширина полосы распознавания составляла 22 Гц.

В качестве эксплуатационной характеристики выбрали показатель величины износа стали, значение которого в исследованных образцах изменялось от 0,25 до 2,0 мкм. Для выявления корреляционной зависимости между размерными и количественными параметрами карбидных фаз и величиной износа стали образцы металла исследовали на структурном анализаторе «Эпиквант» с регистрацией следующих характеристик карбидов: объема ( $V$ ); карбидной неоднородности (вдоль оси  $Z_1$  и поперек оси  $Z_2$  прокатки); среднего линейного расстояния между карбидами (вдоль оси  $L_1$  и поперек оси  $L_2$  прокатки); количества карбидов больше 11,2 мкм ( $N$ ).

*Результаты исследования и их обсуждение.* Типичная микроструктура стали 110X18M представлена на рис. 1. Как видно на фотографии, карбиды имеют форму, близкую к сферичной, но и значительный разброс по размеру.



**Рисунок 1** – Микроструктура стали 110X18M после деформации ( $\times 400$ )

Результаты обработки на ЭВМ (данные по достоверности полученных результатов и их значимость) приведены в табл. 1. Таким образом, графики, представленные на рис. 2 являются достоверными. Из полученных данных следует, что тесную связь с износом имеют объемная доля карбидов, количество карбидов размером больше 11,2 мкм, расстояние между карбидами вдоль и поперек прокатки. Наибольшее влияние на увеличение степени износа оказывает объем карбидной фазы при содержании в интервале 25...28 %. Это объясняется тем, что при таком содержании карбидной фазы степень вероятности возникновения крупных карбидов возрастает, что сопровождается негативным выходом на поверхность дорожки качения и локальными разрушениями по карбидным составляющим. Оптимальное значение содержания карбидов находится в интервале 18...21 %, поскольку здесь наблюдаются минимальные показатели степени износа стали.

Обнаружена тенденция к росту износа с увеличением количества крупных карбидов размером более 11,2 мкм. Такая особенность объясняется тем, что крупные карбиды при выходе на поверхность дорожки качения, и в контакте с телом качения, разрушаются и экстрагируются с матрицы. При этом увеличивается степень износа, вследствие абразивного влияния отделившихся карбидов от матрицы. Именно такой вид износа дает наибольшие показатели погрешности для приборных подшипников.

**Таблица 1** – Результаты статистической обработки измерений параметров карбидов в образцах стали 110X18M на анализаторе «Эпиквант»

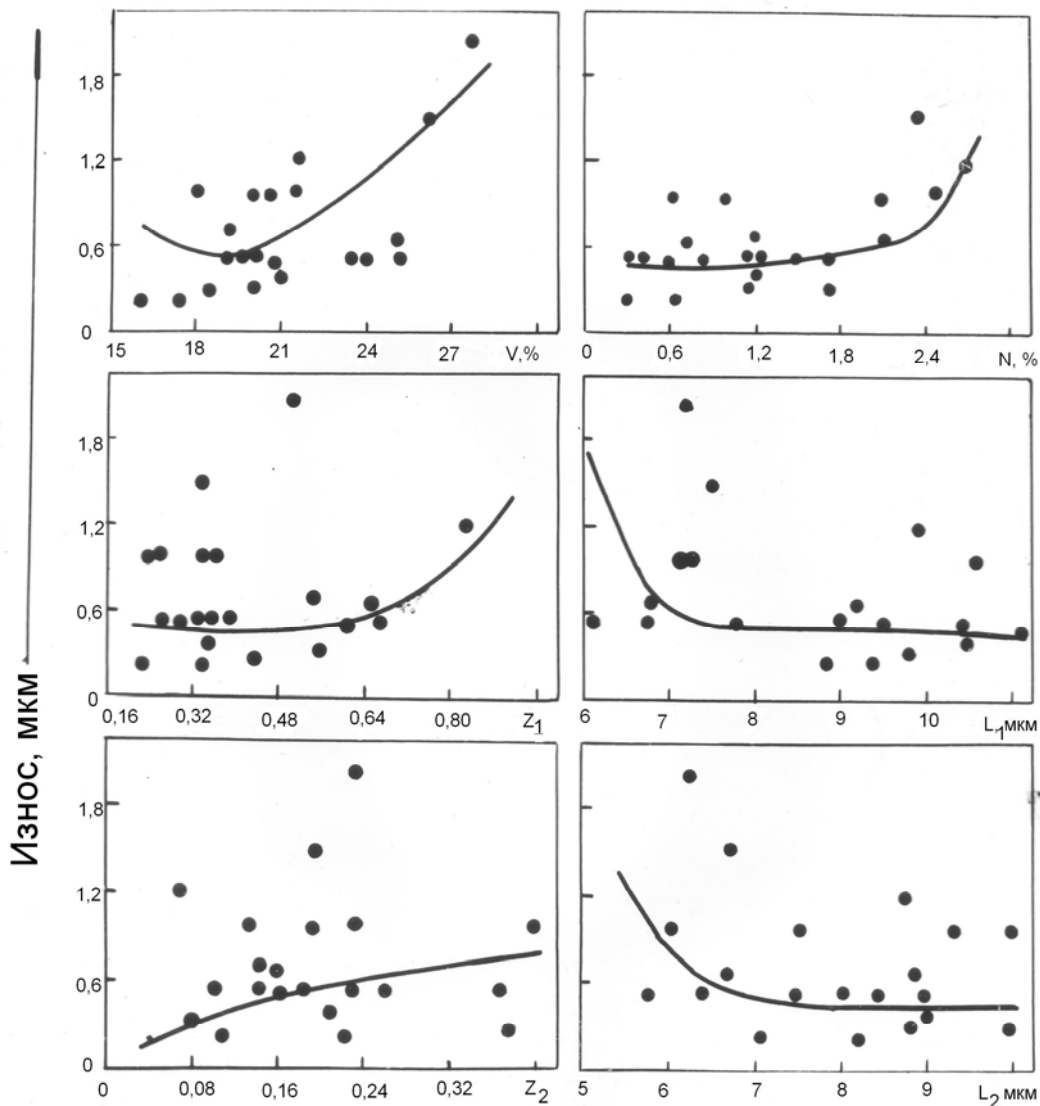
Параметры стериметрии карбидов	Коэффициент корреляционного отношения	Коэффициент значимости	Вид выбранной функции	Значение коэффициентов		
				A	B	C
V	0,97	4,33	$Y = Ax^2 + Bx + C$	0,037	1,430	14,050
Z <sub>1</sub>	0,66	2,96	$Y = \frac{X}{AX^2 + Bx + C}$	-4,410	5,500	-0,657
Z <sub>2</sub>	0,75	3,37	$Y = \frac{X}{AX + B}$	0,508	0,300	-
N	0,69	3,09	$Y = \frac{X}{AX^2 + Bx + C}$	-0,090	3,320	-2,680
L <sub>1</sub>	0,83	3,71	$Y = \frac{X}{AX^2 + Bx + C}$	-0,779	16,900	-68,70
L <sub>2</sub>	0,87	3,92	$Y = \frac{X}{AX^2 + Bx + C}$	-1,250	22,500	-82,90

Различное влияние оказывает расстояние между карбидными частицами в области малых расстояний (до 7 мкм, где основное влияние на эту величину оказывает мелкодисперсные карбиды), уменьшение расстояния приводит к снижению износа; в области больших расстояний (более 8 мкм) влияние на износ не обнаружено. Такая тенденция просматривается как при продольном, так и при поперечном рассмотрении указанной характеристики.

Уменьшение расстояния между карбидами снижает износ материала предположительно по нескольким причинам. Во-первых, это может приводить к образованию новой системы взаимодействия «матрица-карбид» (демпфированию), что воспринимается как скопление карбидов с размерами более 11,2 мкм и возникновение усталостных трещин в матрице между карбидами. Во-вторых, вследствие небольшого расстояния между карбидами возможно распространение усталостной трещины преимущественно по хрупкой карбидной фазе без влияния пластичной матрицы. Соответственно, при незначительном расстоянии между частицами матрица теряет способность поглощать энергию распространения трещины, которая выходит из хрупкой среды. Из чего следует, что разрушение будет идти по карбидам (по «карбидной сетке»).

Увеличение расстояния между карбидами приводит к устранению влияния хрупкого разрушения и абразивного износа стали, поскольку матрица вносит пласти-

чные характеристики в механизм разрушения. Таким образом, при производстве вышеупомянутого материала следует подбирать режимы, которые приведут к увеличению расстояния между карбидами более 8 мкм.



**Рисунок 2** – Зависимость износа от количественных факторов карбидной составляющей стали 110X18M

Вследствие малой выраженности карбидной неоднородности влияние на величину износа может быть обусловлено характером расположения карбидов, определенных расстоянием как вдоль, так и поперек деформации. Это, возможно, обусловлено незначительным варьированием степени карбидной неоднородности в рамках ТУ 14-1-3045-80. В тоже время установлена связь карбидной неоднородности вдоль оси прокатки с износом, однако эти параметры незначительны [коэффициент тесноты связи 0,66 (см. табл.1)], что не дает возможность считать достоверными данные результаты.

#### Выводы

1. Таким образом, в работе рассмотрен и проанализирован характер различных факторов влияющих на величину износа подшипниковой стали 110X18M.

2. Установлено, что оптимальный объем карбидов в подшипниковой стали 110X18M для получения минимальной величины износа составляет 18...21 %.

3. Обнаружена тенденция к увеличению степени износа стали 110X18M с увеличением размера карбидов более 11,2 мкм, что объясняется абразивным видом износа вследствие выквашивания с поверхности контакта тела качения.

4. Выявлено увеличение величины износа с уменьшением расстояния между карбидами. Это объясняется демпфированием в системе «матрица-карбид», воспринимаемым как скопление карбидов с размерами больше 11,2 мкм, а также потерей способности поглощать энергию распространения трещины матрицей.

5. Для получения товарной продукции стали 110X18M необходимо обеспечить следующие параметры карбидов: объем карбидов – 18...21 %, их размеры не быть больше 11,2 мкм, а расстояние между ними – быть меньше 7...8 мкм.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кисенков, Н. Е.* Повышение долговечности соединений колец подшипников качения при ремонте сельскохозяйственной техники методами оптимизации точностных параметров [Текст] : автореф. дис ... канд. техн. наук: 05.20.03. / Н. Е. Кисенков. – М., 2003. – 18 с.
2. *Пашковский, И. Э.* Методика оценки долговечности подшипников качения с учетом использования прогрессивных технологий [Текст] / И. Э. Пашковский, В. М. Светлаков // Промышленный сервис. – 2009. – № 3. – С. 9-12.
3. Силовое взаимодействие сепаратора с элементами высокоскоростного подшипника качения и подшипникового узла [Текст] / Б. М. Силаев, А. В. Безбородников, М. В. Баляба, М. А. Ермилов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королева. – 2009. – № 3-3. – С. 215-220.
4. *Шлапп, М.* Оптимизированные подшипники качения для применения в черной металлургии [Текст] / М. Шлапп // Черные металлы. – 2010. – № 11. – С. 39-43.
5. *Сидоров, В. А.* Классификация повреждений подшипников качения [Текст] / В. А. Сидоров // Вибрация машин: измерение, снижение, защита. – 2010. – № 2. – С. 26-36.
6. Анализ условий работы подшипников в составе опор роторов авиационных ГТД и ЭУ [Текст] / В. А. Зрелов, В. В. Макачук, М. Е. Проданов, А. А. Сударев // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королева. – 2012. – № 3-2. – С. 326-332.
7. *Кравченко, В. М.* Повреждения подшипников качения в результате износа [Текст] / В. М. Кравченко, В. А. Сидоров, В. В. Буцукин // Горное оборудование и электромеханика. – 2013. – № 2. – С. 45-47.
8. ТУ 14-1-3045-80 Прутки из коррозионностойкой стали. Марка 11X18M-ШД двойного переплава (электрошлакового + вакуумного дугового). Технические условия.
9. Влияние состояния карбидной фазы стали 11X18M на износостойкость колец приборных подшипников [Текст] / В. С. Левитин, Е. А. Островская, С. И. Щипунова // Труды института. – М. : Специнформцентр ВНИИППа. – 1978. – № 3 (97). – С. 43-52.

Стаття надійшла до редакції 06.11.2013 р.  
Рецензент, проф. Ю.Ф. Терновий

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука  
<http://www.zgia.zp.ua>