

ВЛИЯНИЕ КАРБИДНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ НА СЛУЖЕБНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛИ 110X18M

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

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

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 МН/м², сжимающие на поверхности контакта и растягивающие у ее контура. Напряжения вызывают упругую и незначительную остаточную деформации элементов подшипника, а 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. Помимо усталостного разрушения, дорожки колец подшипника и сами тела качения (шарики и ролики) подвергаются износу. 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 [1].

Как известно [2], 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 металла, оказывающей влияние на эксплуатационные характеристики, являются крупные первичные кар-

биды, поэтому выдвигаются требования по ограничению их максимального размера (не более 15 мкм) [3]. Однако количественные данные о степени влияния карбидов разных размеров на износостойкость стали 110X18M малочисленны и не систематизированы.

Таким образом, определение зависимости количественных показателей карбидной составляющей стали 110X18M на износ – это актуальная научная и практическая проблема.

Материал и методика исследования

Материалом для испытаний была выбрана шарикоподшипниковая сталь 110X18M промышленных партий проката, произведена по различным технологическим вариантам [2]. Шлифы изготавливались с образцов прошедших испытание на износ согласно методике НИП-Па инструкция И 22-54-45-73. Выбран образец V типа с рабочим диаметром 3,5 мм и контргтело III типа с рабочим диаметром 35 мм. Количество испытываемых образцов с различной степенью износа составляло 120 штук. Скорость испытания составляла 1 м/с при нагрузке 5 кг в течение 5 часов, после которых в паре качения полностью завершается процесс приработки и износ образца достигает измеримой современными средствами величины. В качестве критерия износа было выбрано изменение рабочего диаметра после испытания ΔD [4].

Травление осуществляли в 4 % спиртовом растворе азотной кислоты и насыщенного водного раствора тиосульфата натрия.

Количественный анализ карбидов производили на структурном анализаторе «Эпиквант» при увеличении $\times 250$. С целью повышения чувствительности порог дискриминации был снижен с 5 В до 2,5 В. Скорость сканирования составляла 20 мкм \times сек⁻¹ по полю размером 1,8 \times 1,8 мм, ширина полосы распознавания 22 Гц.

В качестве эксплуатационной характеристики был выбран показатель величины износа, составляющий в

исследованных образцах от 0,25 до 2 мкм. Для выявления корреляционной зависимости между размерными и количественными параметрами карбидных фаз и величиной износа образцы металла исследовали на структурном анализаторе «Эпиквант» с регистрацией следующих характеристик карбидов: V – объем; Z – карбидная неоднородность (Z_1 – вдоль оси прокатки, Z_2 – поперек оси прокатки); L – среднее линейное расстояние между карбидами (L_1 – вдоль оси прокатки, L_2 – поперек оси прокатки); N – количество карбидов больше 11,2 мкм.

Результаты исследования и их обсуждение

Типичная микроструктура стали 110X18M представлена на рисунке 1. Как видно с фотографии, карбиды имеют близкую к сферической форму, но значительный разброс по размеру.

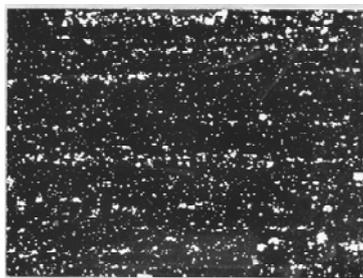


Рис. 1. Микроструктура стали 110X18M после деформации, $\times 400$

Результаты обработки на ЭВМ представлены в таблице 1. Приведены данные по достоверности полученных результатов и их значимость. Таким образом, нанесенные графики на рисунке 2 достоверны. Из этих данных следует, что тесную связь с износом имеют следующие параметры: 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 степень вероятности возникновения крупных карбидов увеличивается, что приводит к негативному выходу на поверхность дорожки качения и локальному разрушению по карбидным составляющим. Оптимальный вариант содержания карбидов находится в интервале 18–21 %, поскольку здесь наблюдаются минимальные показатели степени износа.

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.

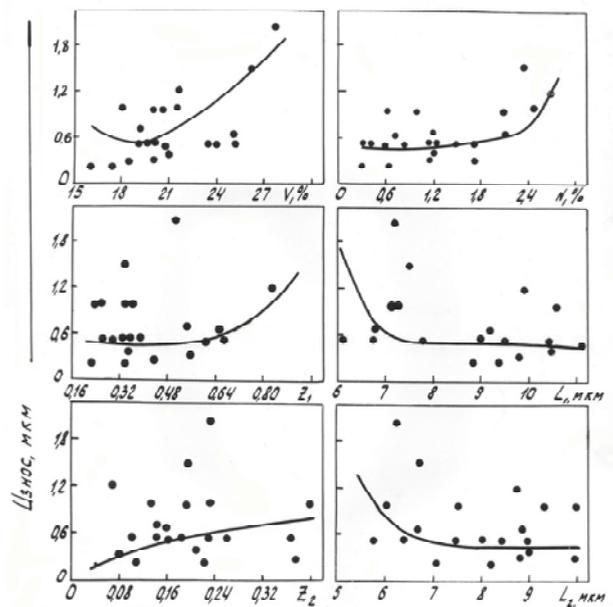


Рис. 2. Зависимость износа от количественных факторов карбидной составляющей стали 110X18M

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 возникновению 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 приводит к устранению влияния хрупкого разрушения и абразивного износа, поскольку матрица принимает участие в процессе и вносит пластичные и вязкие характеристики в полном объеме. Следовательно, при производстве вышеупомянутого материала нужно подбирать режимы, которые приведут к увеличению расстояния между карбидами более 8 мкм.

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	1,43	14,05
Z ₁	0,66	2,96	$Y = \frac{X}{Ax^2 + Bx + C}$	-4,41	5,5	-0,657
Z ₂	0,75	3,37	$Y = \frac{X}{Ax + B}$	0,508	0,3	–
N	0,69	3,09	$Y = \frac{X}{Ax^2 + Bx + C}$	-0,09	3,32	-2,68
L ₁	0,83	3,71	$Y = \frac{X}{Ax^2 + Bx + C}$	-0,779	16,9	-68,7
L ₂	0,87	3,92	$Y = \frac{X}{Ax^2 + Bx + C}$	-1,25	22,5	-82,9

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 то же время установлена связь карбидной неоднородности вдоль оси прокатки с износом, однако эти параметры незначительны (коэффициент тесноты связи 0,66), что не дает возможности считать достоверными эти результаты.

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

Выводы

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

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

3. Выявлено увеличение величины износа с уменьшением расстояния между карбидами. Это объясняется демпфированием в системе матрица-карбид, что воспринимается как скопление карбидов с размерами боль-

ше 11,2 мкм, а также потерей способности поглощать энергию распространения трещины матрицей.

4. Предлагаются рекомендации, что при получении товарной продукции стали 110X18M необходимо придерживаться следующих показателей: объем карбидов должен составлять 18–21 %, размер карбидов должен быть не больше 11,2 мкм, а расстояние между карбидами меньше 7–8 мкм.

Список литературы

1. Анализ условий работы подшипников в составе опор роторов авиационных ГТД и ЭУ / [Зрелов В. А., Макачук В. В., Проданов М. Е., Сударев А. А.] // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С. П. Королёва (национального исследовательского университета). – 2012. – № 3–2. – С. 326–332.
2. Спектор А. Г. Структура и свойства подшипниковых сталей / Спектор А. Г., Зельбет Б. П., Киселёва С. А. – М. : Металлургия, 1980. – 264 с.
3. ТУ 14-1-3045-80 Прутки из коррозионностойкой стали. Марка 11X18M-ШД двойного переплава (электрошлакового + вакуумного дугового). Технические условия.
4. Левитин В. С. Влияние состояния карбидной фазы стали 11X18M на износостойкость колец приборных подшипников / Левитин В. С., Островская Е. А., Щипунова С. И. // Труды института, №3 (97). – М. : Специнформцентр ВНИИПа, 1978. – С. 43–52.

Одержано 24.10.2013

Мороз О.М., Глотка О.А., Боляк В.Р. Вплив карбідної складової на службові характеристики сталі 110X18M

Розглянуто вплив карбідної фази на знос сталі 110X18M. Виявлено закономірності зміни величини зносу від кількісних факторів зміцнювальної фази. Рекомендовано інтервал об'ємного вмісту карбідів у межах 18–21 % при середній відстані між карбідами понад 8 мкм, що приводить до мінімальних показників ступеня зносу.

Ключові слова: *підшипникова сталь 110X18M, карбідна складова, знос, об'єм, розмір карбідів, міжкарбідна відстань.*

Moroz A., Glotka A., Bolyak V. Impact on service component carbide steel properties 110X18M

The influence of carbide phase on steel 110X18M wear considered. Regularities of wear value change depending on quantitative phase factor that strengthens is revealed. Volume content of carbide within 18–21 % with the average distance between carbides more than 8 microns which results in minimal wear were recommended.

Key words: *bearing steel 110H18M, carbide component wear, volume, size carbides, carbide distance.*