

ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАРБИДОВ НА ИЗНОС СТАЛИ 110X18М-ШД (440°С)

А. А. ГЛОТКА, А. Н. МОРОЗ

Запорожский национальный технический университет

Выявлены закономерности изменения износа стали 110X18М в зависимости от количественных характеристик упрочняющей фазы. Рекомендован интервал объемного содержания карбидов в пределах 18...21% при среднем расстоянии между ними более 8 μm , что обуславливает минимальный износ.

Ключевые слова: *подшипниковая сталь 110X18М, карбидная составляющая, износ, объем, размер карбидов, межкарбидное расстояние.*

В процессе функционирования подшипники находятся под воздействием высоких знакопеременных напряжений. Каждый участок рабочей поверхности, шарика или ролика, а также дорожки колец испытывает многократные нагружения, распределяющиеся в пределах очень небольшой опорной поверхности. Поэтому здесь возникают местные контактные знакопеременные напряжения порядка 3...5 MN/m^2 (сжимающие – на поверхности контакта и растягивающие – у ее контура), вызывающие упругую и незначительную остаточную деформации элементов подшипника, а в некоторых случаях их области соизмеримы со структурными составляющими. Многократные деформации обуславливают появление усталостных трещин, выкрашивание поверхности подшипника, вследствие чего при качении возникают удары, под действием которых разрушение усиливается и подшипник выходит из строя. Помимо усталостного разрушения, дорожки колец подшипника и сами тела качения (шарики и ролики) подвергаются износу, причиной которого являются тангенциальные напряжения, вызываемые силами трения при скольжении контактирующих поверхностей. В результате истирания от поверхности металла отделяются тонкие чешуйки, что способствует увеличению зазора между кольцами и телами качения и усилению 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). На эксплуатационные характеристики металла в основном влияют крупные первичные карбиды, поэтому выдвигаются требования по ограничению их максимального размера (не более 15 μm) [3]. Однако количественные данные о степени воздействия карбидов разных размеров на износостойкость стали 110X18М малочисленны и несистематизированы.

Следовательно, определить влияние количественных показателей карбидной составляющей стали 110X18М на износ – актуальная научная и практическая проблема.

Материал и методика эксперимента. Исследовали шарикоподшипниковую сталь 110X18М промышленных партий проката [2]. Шлифы изготавливали

из образцов, испытанных на износ согласно инструкции И 22-54-45-73. Выбрали образец типа V и контргело типа III с рабочими диаметрами 3,5 и 35 mm соответственно. Исследовали 120 образцов с различной степенью износа. Скорость испытания 1 m/s при нагрузке 5 kg в течении 5 h, после чего в паре качения полностью завершается процесс приработки и износ образца можно измерить. В качестве критерия износа выбрали изменение рабочего диаметра ΔD после испытания [4].

Травили в 4%-ом спиртовом растворе азотной кислоты и насыщенном водном растворе тиосульфата натрия. Количественный анализ карбидов выполняли на структурном анализаторе “Эпиквант” при увеличении в 250 раз. С целью повышения чувствительности порог дискриминации снизили с 5 до 2,5 V. Скорость сканирования 20 $\mu\text{m/s}$ по полю размером 1,8 \times 1,8 mm, ширина полосы распознавания 22 Hz. В качестве эксплуатационной характеристики выбрали показатель степени износа, составляющий в данном случае от 0,25 до 2 μm . Для выявления корреляционной зависимости между размерными и количественными параметрами карбидных фаз и степенью износа использовали анализатор “Эпиквант”. Регистрировали объем карбидов V , карбидную неоднородность Z (Z_1 – вдоль оси прокатки, Z_2 – поперек), среднее линейное расстояние между ними L (L_1 – вдоль оси прокатки, L_2 – поперек), количество карбидов N размером больше 11,2 μm .

Результаты и их обсуждение.

Типичную микроструктуру стали иллюстрирует рис. 1. Как видим, карбиды имеют близкую к сферичной форму, но значительный разброс по размеру.

Результаты обработки на ЭВМ, а также сведения об их достоверности и значимости приведены в таблице и на рис. 2. Следовательно, с износом тесно повязаны объемная доля карбидов, количество карбидов размером больше 11,2 μm , расстояние между ними вдоль и поперек прокатки. Наиболее ощутимо на износ влияет карбидная фаза при содержании 25...28%. Это объясняется тем, что тогда вероятность возникновения крупных карбидов увеличивается, что приводит к негативному их выходу на поверхность дорожки качения и локальному разрушению по карбидным составляющим. Оптимальное содержание карбидов 18...21%, поскольку тогда износ минимальный.

Обнаружена тенденция к росту износа с повышением количества карбидов размером более 11,2 μm . Это связано с тем, что крупные карбиды, выходя на поверхность дорожки качения и контактируя с телом качения, разрушаются и экстрагируются с матрицы. При этом вследствие абразивного влияния отделившихся от матрицы карбидов увеличивается степень износа. Именно в этом случае показатели погрешности для приборных подшипников максимальны.

По-разному на износ влияет расстояние между карбидными частицами: при малых (до 7 μm) он увеличивается, а при больших (более 8 μm) воздействия на износ не обнаружено. Вероятно, с уменьшением расстояния между карбидами износ материала увеличивается по нескольким причинам. Во-первых, возможно образование новой системы взаимодействия матрица–карбид (демпфированию),

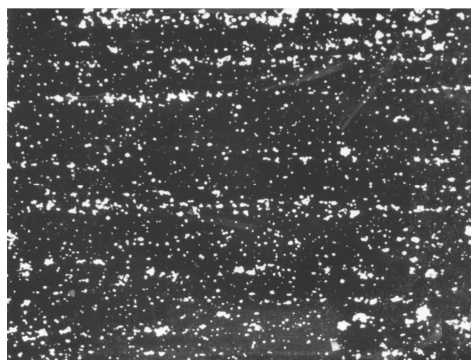


Рис. 1. Микроструктура стали 110H18M после деформации ($\times 400$).

Fig. 1. The 110H18M steel microstructure after deformation ($\times 400$).

которая воспринимается как скопление карбидов с размерами более $11,2 \mu\text{m}$, и возникновение усталостных трещин в матрице между ними. Во-вторых, вследствие небольшого расстояния между карбидами возможно распространение усталостной трещины преимущественно по хрупкой карбидной фазе без влияния пластичной матрицы. Следовательно, матрица теряет способность поглощать энергию распространения трещины, которая выходит из хрупкой среды, и разрушение будет развиваться по карбидам (по “карбидной сетке”).

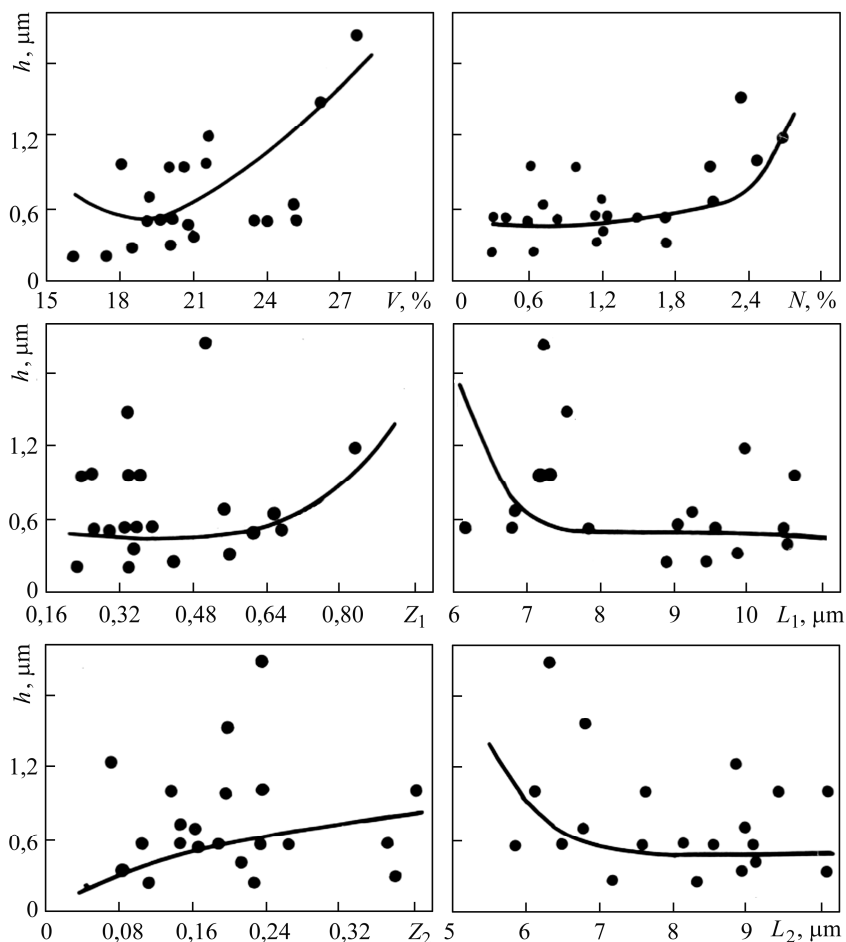


Рис. 2. Зависимость износа от количественных факторов карбидной составляющей стали 110X18M.

Fig. 2. Dependence of wear on the quantitative factors of carbide component of 110H18M steel.

С увеличением расстояния влияние хрупкого разрушения и абразивного износа ослабевает, поскольку матрица принимает участие в процессе и вносит пластичные и вязкие характеристики в полном объеме. Таким образом, при производстве стали нужно подбирать режимы, которые обусловят увеличение расстояния между карбидами более $8 \mu\text{m}$.

Поскольку карбидная неоднородность выражена слабо, на износ может влиять характер расположения карбидов – вдоль или поперек деформации. Это, вероятно, вызвано незначительным варьированием степени карбидной неоднородности (ТУ 14-1-3045-80). В то же время связь карбидной неоднородности вдоль оси прокатки с износом незначительна (коэффициент тесноты связи 0,66), что не дает возможность считать достоверными эти результаты.

**Результаты статистической обработки измерений параметров карбидов
в образцах стали 110X18M на анализаторе “Эпиквант”**

Параметры стереомерии карбидов	Коэффициент корреляци- онного отношения	Коэффициент значимости	Вид выбранной функции	Значения коэффициентов		
				<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
<i>V</i>	0,97	4,33	$Y = Ax^2 + Bx + C$	0,037	1,43	14,05
<i>Z₁</i>	0,66	2,96	$Y = \frac{X}{Ax^2 + Bx + C}$	-4,41	5,5	-0,657
<i>Z₂</i>	0,75	3,37	$Y = \frac{X}{Ax + B}$	0,508	0,3	-
<i>N</i>	0,69	3,09	$Y = \frac{X}{Ax^2 + Bx + C}$	-0,09	3,32	-2,68
<i>L₁</i>	0,83	3,71	$Y = \frac{X}{Ax^2 + Bx + C}$	-0,779	16,9	-68,7
<i>L₂</i>	0,87	3,92	$Y = \frac{X}{Ax^2 + Bx + C}$	-1,25	22,5	-82,9

ВЫВОДЫ

Установлено, что оптимальный объем карбидов в стали 110X18M для минимального износа составляет 18...21%. Обнаружена тенденция к его увеличению с ростом размера карбидов более 11,2 мкм, что объясняется абразивным износом вследствие выкрашивания с поверхности контакта тела качения. Выявлено увеличение износа с уменьшением расстояния между карбидами. Это объясняется демпфированием в системе матрица–карбид, что воспринимается как скопление карбидов с размерами больше 11,2 мкм, а также потерей способности поглощать энергию распространения трещины матрицей. При получении продукции из стали 110X18M необходимо придерживаться следующих показателей: объем карбидов должен составлять 18...21%, их размер не превышать 11,2 мкм, а расстояние между ними – меньше 7...8 мкм.

РЕЗЮМЕ. Виявлено закономірності зміни зносу сталі 110X18M залежно від кількісних характеристик зміцнювальної фази. Рекомендовано інтервал об'ємного вмісту карбідів 18...21% за середньої відстані між ними більше 8 мкм, що призводить до мінімального зносу.

SUMMARY. The regularities of changes in the amount of wear of 110H18M steel depending on quantitative factors of a strengthening phase are established. The recommended interval of carbides volume content is 18...21%, with an average distance between carbides more than 8 μm which causes the minimal wear.

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

Получено 08.09.2015