НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

УДК 621.771.07 621.82.2

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ СТАНА-ТАНДЕМ 2000 ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ОАО «ММК»

Султанов Н. Л., Жиркин Ю. В., Шленкина М. А.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, Россия

Аннотация. Опыт эксплуатации стана-тандем 2000 холодной прокатки с 2011 года выявил снижение работоспособности подшипников качения опор рабочих валков и опор тянущих роликов при работе со скоростью прокатки, превышающей 1000 об/мин. В этом случае основной причиной отказов подшипников качения является их перегрев. В работе рассматриваются результаты испытаний на надёжность подшипников качения. Найдены точечные оценки и нижние доверительные границы ресурсов как для подшипников качения опор рабочих валков, так и опор тянущих роликов. Нижняя доверительная граница среднего ресурса подшипников качения при доверительной вероятности q = 0,9 составляет 4181,7 ч при нормативе на замену 5400 ч, что не обеспечивает заданный уровень надёжности. При реализации мероприятий по предотвращению отказов по перегреву можно установить норматив на замену подшипников качения, равный 6260 ч при значительно более высоком уровне надёжности P(t) = 0,95.

Ключевые слова: подшипник качения, надежность, ресурс, перегрев, износ.

Введение

Опыт эксплуатации стана 2000 холодной прокатки показал, что в условиях интенсивного нагружения и при скоростях прокатки свыше 1000 м/мин возрастает интенсивность отказов подшипников качения (ПК) рабочих валков клетей №4 и 5, а также тянущих роликов по причине их перегрева. Это ведет к внеплановым простоям и, как следствие, потерям производства.

Исследование надежности подшипников качения опор рабочих валков стана 2000 холодной прокатки ОАО «ММК»

Для установления показателей эксплуатационной надежности ПК были проведены испытания на надёжность подшипниковых опор с момента пуска стана в 2011 году, заключающиеся в сборе информации ресурса подшипниковых опор по плану [NUN] [1].

Данные, приведенные в таблице показывают, что основными причинами выхода из строя ПК опор рабочих валков являются износ и перегрев.

По результатам обработки статистической информации установлено, что выборка по ресурсам ПК описывается распределением Вейбулла, для которого показатели долговечности ПК опор рабочих валков определяются из следующих зависимостей [2–5].

Точечная оценка среднего ресурса [2]

$$\hat{T} = \hat{a} \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\hat{b}}\right), \qquad (1)$$

где $\hat{a}$ – точечная оценка ресурсной характеристики; $\hat{b}$ – точечная оценка параметра формы.

Нижняя доверительная граница среднего ресурса при доверительной вероятности q [2]

$$\underline{T} = \hat{T} exp\left(-\frac{V_q}{\hat{b}}\right), \qquad (2)$$

$\hat{T}$ – точечная оценка среднего ресурса, ч; V_q – квантили распределения статистик.

Из уравнений (1) и (2) получено:

а) для всех отказавших ПК

$$\hat{T} = 5443,77 \text{ ч.}$$

При доверительной вероятности $q = 0,9$

$$\underline{T} = 4181,71 \text{ ч;}$$

б) для ПК отказавших только по износу

$\hat{T} = 7942$ ч.

При доверительной вероятности $q = 0,9$

$\underline{T} = 7564,45$ ч.

Гамма-процентная наработка при значении $\gamma = 0,95$ составляет

$T_{0,95} = 6260$ ч.

Ресурс подшипников качения опор рабочих валков стана 2000 холодной прокатки (2011–2014 гг.)

Номер подушки	Маркировка подшипника	Дата установки	Наработка, ч	Причина выхода
1	MB-15	18.03.11	5438	Перегрев
1	NK-15	16.05.12	2486	Перегрев
1	NY-7	12.02.13	2386	Перегрев
2	KC-30	18.03.11	5450	Перегрев
2	NL-7	28.05.12	5692	Перегрев
5	KF-2	20.03.11	4960	Перегрев
6	NY-5	07.04.12	1347	Перегрев
11	VD-312E	29.12.11	3870	Перегрев
13	KF-14	31.03.11	4960	Перегрев
13	KF-3	14.05.12	2150	Перегрев
13	NY-9	09.01.13	104	Перегрев
17	KC-25	30.03.11	460	Перегрев
21	KG-9	03.04.11	4520	Перегрев
36	KC-4	16.02.12	7120	Износ
50	MB-11	26.11.11	7304	Износ
13	NY-16	11.06.11	7500	Износ
43	KC-12	24.11.11	7780	Износ
53	KG-6	10.11.12	7960	Износ
54	NK-18	30.12.12	8032	Износ
46	NL-2	05.10.12	8160	Износ
39	KC-18	06.12.11	9680	Износ

Полученные результаты показывают возможность существенного повышения показателей эксплуатационной надежности ПК опор рабочих валков в случае устранения отказов ПК по перегреву.

В настоящее время в цехе установлен норматив по плановой замене ПК, равный 5400 ч, что существенно выше значения среднего ресурса при доверительной вероятности $q = 0,9$, равного 4181,7 ч.

В случае устранения причин, приводящих к перегреву подшипников качения, возможно установление норматива на замену подшипников качения на уровне 6200 ч при значительно более высоком уровне надёжности с вероятностью безотказной работы P(t) = 0,95.

Исследование надежности подшипников качения опор тянущих роликов стана 2000 холодной прокатки ОАО «ММК»

В блоках тянущих роликов установлены тороидальные роликоподшипники CARB – это совершенно новый тип радиальных роликоподшипников. Эти компактные, самоустанавливающиеся роликоподшипники были разработаны SKF и представлены на рынок в 1995 году. Их уникальная конструкция объединяет в себе возможности сферического роликоподшипника самоустанавливаться со способностью цилиндрического роликоподшипника компенсировать осевые перемещения. Они также имеют небольшое поперечное сечение, которое обычно ассоциируется с игольчатым роликоподшипником.

Подшипники CARB используются для восприятия радиальных нагрузок в широком диапазоне. Они предназначены исключительно для применения в плавающих опорах, в которых используются идеальные сочетания их свойств – способность к самоустановке и восприятию осевых перемещений вала. За счёт принудительного смещения колец подшипника друг относительно друга имеется возможность точно устанавливать радиальный внутренний зазор подшипника [6].

Как было уже сказано, при скорости прокатки свыше 1000 м/мин возникает перегрев подшипниковых опор тянущих роликов и, соответственно, связанные с этим внеплановые простои. Поэтому, так же как и для ПК рабочих валков, выполнено исследование эксплуатационной надежности подшипников тянущих роликов.

За период с 2011–2014 гг. на стане 2000 холодной прокатки ПК выходили из строя только по причине перегрева.

Из опыта эксплуатации стана 2000 холодной прокатки выявлено, что подшипники, вышедшие из строя по причине перегрева, являются подшипниками SKF 200/310x82, тип 23040 CC/W33/C3 (см. **рисунок**).

Подшипник тянущего ролика стана 2000 холодной прокатки SKF 200/310x82, тип 23040 CC/W33/C3

При испытаниях на надежность по плану [NUN] [1] были установлены ресурсы подшипников качения, представленные в упорядоченном виде.

Ресурсы ПК, ч: 96, 504, 528, 768, 3900, 4944, 6432, 10128.

Из уравнений (1) и (2) получены показатели долговечности ПК тянущих роликов:

Точечная оценка среднего ресурса

$$\hat{T} = 3083 \text{ ч.}$$

Нижняя доверительная граница ресурса при доверительной вероятности $q = 0{,}9$

$$\underline{T} = 1531 \text{ ч.}$$

Таким образом, можно сделать вывод о том, что нижняя доверительная граница среднего ресурса ПК тянущих роликов стана 2000 холодной прокатки, с учетом подшипников вышедших из строя по причине перегрева за период с 2011 по 2014 гг. составляет 1531 ч.

Расчет долговечности ПК при 90% надежности выполнен по зависимости [7–8]

$$L_h = \left(\frac{C}{P}\right)^{10/3}, \quad (3)$$

где C – грузоподъемность, кН; P – нагрузка на подшипник, кН.

Из технологической инструкции [9] находим P=150 кН, в свою очередь, из справочника SKF [6] C = 1000 кН

$$L_h = \left(\frac{1000}{150}\right)^{10/3} = 552 \text{ млн оборотов,}$$

или в часах работы

$$L_{hч} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot L_h, \quad (4)$$

где n = 1100 об / мин.

$$L_{hч} = \frac{10^6}{60 \cdot 1100} \cdot 552 = 8 \cdot 363 \text{ ч.}$$

Отказы ПК тянущих роликов связаны только с перегревом, а их средний ресурс составляет 3083 ч, а нижняя доверительная граница среднего ресурса при доверительной вероятности q = 0,9–1531 ч, т.е. существенно меньше расчётной долговечности.

Заключение

Испытания на надёжность подшипников качения опор стана-тандем 2000 холодной прокатки показали их низкую эксплуатационную надёжность, при доверительной вероятности q = 0,9 нижняя доверительная граница среднего ресурса для рабочих валков равна 4181,7 ч, для тянущих роликов 1531 ч. Устранение причин перегрева позволит существенно повысить средний ресурс подшипников качения соответственно до 6260 и 8363 ч. Предварительный анализ показал, что следствием отказов являются как недостатки конструктивного исполнения подшипникового узла, связанные с поступлением смазочного материала непосредственно в зону контакта подшипников качения, так и недостатки в режиме подачи смазочного материала. Частично решения по устранению причин отказов подшипников качения приведены в работе [10].

Список литературы

1. Надежность машиностроительной продукции: Практическое руководство по нормированию, подтверждению и обеспечению. М., 1990. 327 с.
2. Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем. М.: Мир, 1977. 598 с.
3. Жиркин Ю.В. Надежность, эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт металлургических машин. Руководство к решению задач и упражнений: учеб. пособие. Магнитогорск: МГТУ, 1998. 336 с.
4. Chernoff H., Lehmann E.L. The use of maximum likelihood estimates in χ2 test for goodness of fit // The Annals of Mathematical Statistics. 1954. Vol. 25. P. 579–586.
5. Статистический анализ данных, моделирование и исследование вероятностных закономерностей. Компьютерный подход: монография / Б.Ю. Лемешко, С.Б. Лемешко, С.Н. Постовалов, Е.В. Чимитова. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. 888 с.
6. Общий каталог по подшипникам качения: справочное пособие SKF. М., 2009. 1129 с.
7. Перель Л.Я., Филатов А.А. Подшипники качения: Расчет, проектирование и обслуживание опор. М.: Машиностроение, 1992. С. 608.
8. Общие сведения о подшипниках качения: справочное пособие Timken. М., 2011. 150 с.
9. Технологическая инструкция / ЛПЦ№11. Магнитогорск, 2011.
10. Повышение эффективности подачи смазочного материала в подшипниках качения тянущих роликов стана 2000 х/пр ОАО «ММК» / Ю.В. Жиркин, Н.Л. Султанов, Е.И. Мироненков, Р.Р. Юсупов, М.А. Шлёнкина. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 71-й межрегиональной научно-технической конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2013. Т.1. С. 367–370.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

RESEARCH OF RELIABILITY OF ROLLING BEARINGS ON TANDEM COLD ROLLING MILL 2000 AT OJSC MMK

Sultanov Nail Lasynovich – Postgraduate, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: stalevar888@mail.ru.

Girkin Yuriy Vasilyevich – Ph.D (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: girkin@yandex.ru.

Shlenkina Marina Alexandrovna – student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: kakay_prelest@mail.ru.

Abstract. Since 2011 operating experience of cold rolling tandem mill 2000 revealed decrease in operability of rolling bearings for supports of working rolls, and supports of pinch rolls during operation at a rolling speed of 1000 rpm and over. In this case a main reason of rolling bearing failures is overheating. This article presents results of fail-safety tests of rolling bearings. Point estimates and lower confidence bounds of lifetime for rolling bearings of supports of working rolls and pinch rolls are found. The lower confidence bound of an average lifetime of rolling bearings at a confidence probability of q = 0.9 is 4181.7 hours, while the standard lifetime is 5400 hours, which doesn't provide the set level of reliability. When taking measures aimed at prevention of failures due to overheating, it is possible to establish the standard for replacement of rolling bearings equal to 6260 hours at a much higher level of reliability of P(t) = 0.95.

Keywords: rolling bearing, reliability, lifetime, overheating, wearout.

References

1. Reliability of engineering products: A practical guide to standardization, validation and maintenance. Moscow, 1990, 327 p.
2. Kapur K., Lamberson L. *Nadezhnost' i proektirovanie sistem* [Reliability in engineering design]. Moscow: Mir, 1977, 598 p.
3. Zhirkin Yu.V. *Nadezhnost', ehkspluatatsiya, tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont metallurgicheskikh mashin. Rukovodstvo k resheniyu zadach i uprazhnenij: uchebnik* [Reliability, operation, maintenance and repair of metallurgical machines. Guide to solving problems and exercises: Textbook]. Magnitogorsk, 1998, 336 p.
4. Chernoff H., Lehmann E.L. The use of maximum likelihood estimates in χ2 test for goodness of fit. *Letopis' matematicheskoj statistiki* [The Annals of Mathematical Statistics]. 1954, vol. 25, pp. 579–586.
5. Lemeshko B.Yu, Lemeshko S.B., Postovalov S.N., Chimitova E.V. *Statisticheskij analiz dannykh, modelirovanie i issledovanie veroyatnostnykh zakonomernostej. Komp'yuternyj podkhod : monografiya* [Statistical data analysis, modeling and research of the laws of probability. Computer approach: monograph]. Novosibirsk: Publishing House of NSTU, 2011, 888 p.
6. General catalog for rolling bearings: SKF handbook. Moscow, 2009, 1129 p.
7. Perel L.Ya., Filatov A.A. *Podshipniki kacheniya: Raschet, proektirovanie i obsluzhivanie opor* [Rolling bearings: Calculation, design and maintenance of supports]. Moscow: Engineering, 1992, 608 p.
8. Understanding roller bearings: Timken handbook. Moscow, 2011, 150 p.
9. Process instructions, Rolling Shop #11. Magnitogorsk, 2011.
10. Zhirkin Yu.V., Sultanov N.L., Mironenkov E.I., Yusupov R.R., M.A. Shlenkina. Improving the efficiency of the lubricant supply to rolling bearings of pinch rolls on cold rolling mill 2000 at OJSC MMK. *Aktual'nye problemy sovremennoj nauki, tekhniki i obrazovaniya: materialy 71-j mezhregional'noj nauchno-tekhnicheskoj konferentsii* [Actual problems of modern science, technology and education: Proceedings of the 71st inter-regional scientific and technical conference]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2013, vol. 1, pp. 367–370.