

УДК 669.019.02/09

ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЧИСТОВОЙ ГРУППЫ КЛЕТЕЙ АГРЕГАТА НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СОРТОВОЙ СТАЛИ

Александр Геннадьевич Калужский, Андрей Анатольевич Мальцев

Студент 6 курса

кафедра «Оборудование и технологии прокатки»

Московский государственный технический университет

Научный руководитель: А.А. Мальцев,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»

Рассматриваемый в статье объект — агрегат непрерывной разливки и прокатки стали и сплавов (АНРиПСиС), расположенный в сталеплавильном цехе №3 (СПЦ-3) металлургического завода «Электросталь» (ОАО МЗ «Электросталь»), конкретнее, его чистовая группа клетей (рис.1).



Рис 1. Чистовая группа клетей АНРиПСиС

После прокатки на планетарном стане 100 непрерывно-литая заготовка 60 × 80 мм значительно уменьшается в своем поперечном сечении и последовательно попадает в шесть клетей непрерывного стана «250», после чего она окончательно превращается в катанку $\varnothing 8...10$ мм или $\square 8...10$ мм.

Во время прохождения студентами производственной практики в СПЦ-3 обнаружено, что на предприятии все еще действует система планово-предупредительных ремонтов (ППР); это относится и к оборудованию АНРиПСиС.

Авторы считают, что необходим переход от системы ППР к новой системе ремонтов оборудования по фактическому состоянию, т.е. по результатам комплексного диагностирования исправности или неисправности деталей и узлов. Такой переход был задуман давно, до разработки федеральной программы «Техническое перевооружение и развитие металлургии России» (1993 — 2000 гг.).

Серьезный недостаток общепринятой системы ППР заключается в том, что план ремонтов прокатного стана составляется по среднестатистическим данным о выходе из строя его деталей и узлов. Ремонт по регламенту зачастую приводит к замене исправного оборудования и не исключает аварии между ремонтами.

Подход, альтернативный системе ППР, хотя и требует денежных затрат на приобретение дорогостоящей диагностической аппаратуры, все-таки себя оправдывает, поскольку эксплуатационные затраты на техническое обслуживание и ремонт не диагностируемого оборудования могут составить более половины от стоимости покупки прокатного стана, а со встроенной системой диагностики такие затраты уменьшаются примерно в десять раз.

Большинство отечественных организаций и заводов предпочитают приобретать дорогую зарубежную диагностическую аппаратуру, хотя в России имеются как свои производители, так и теоретические разработки в области диагностики и прогнозирования.

При этом разработчики программного обеспечения любой, даже самой современной, системы диагностики, как правило, не берутся за решение таких теоретических задач, как прогнозирование остаточного ресурса работы деталей и узлов оборудования прокатного стана. Результат промышленного диагностирования заключается лишь в констатации факта исправности или неисправности отдельных деталей и узлов в текущий момент времени, но никак не в прогнозировании даты их поломки.

Согласно ГОСТ Р 53564-2009 «Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Требования к системам мониторинга» термин «станция пользователя» определяет «программно-аппаратный комплекс на базе компьютеров общего применения, предназначенный для получения, отображения и протоколирования информации о состоянии оборудования в реальном масштабе времени».

Главным звеном предлагаемой авторами диагностической аппаратуры, доводящей ее до уровня станции пользователя, является персональный компьютер (ПК) с установленным на нем программным обеспечением (ПО), которое объединяет в себе программу оцифровки сигналов, поступающих с датчиков, и программу прогнозирования остаточного ресурса.

С целью превращения ПК в цифровой осциллограф для компьютерной обработки сигналов с датчиков, необходимо приобрести аналого-цифровой преобразователь (АЦП), который выполняет операции, связанные с преобразованием аналогового сигнала (напряжения) в цифровую форму (двоичный код); причем выполняемыми операциями являются дискретизация, квантование и кодирование. Оцифровка сигналов позволяет исключить такие недостатки аналогового способа формирования сигналов, как низкая стабильность и линейность, нарушение квадратуры, трудность фильтрации.

Отечественные и зарубежные фирмы, такие как L-Card, выпускают внешние и внутренние АЦП с различными техническими характеристиками. Эти устройства снабжаются программным обеспечением, которое позволяет превратить компьютер в электронный осциллограф.

Авторами выявлен недостаток всех существующих как стационарных, так и

портативных систем диагностики и мониторинга ТС — неспособность предотвращать внезапные аварии металлургического оборудования, вызванные усталостным разрушением его высоконагруженных деталей [1, 2].

Надежность деталей прокатного стана характеризуется прочностью, жесткостью, точностью, износостойкостью, теплостойкостью и другими критериями [3]. Так, расчет надежности, например, опасного сечения вала шпинделя по критерию прочности основан на сравнении расчетного значения максимального касательного напряжения $\tau_{\text{шпн}}$, с допусаемым касательным напряжением материала шпинделя $[\tau]$. Последнее выбирается по нормативным, справочным или эксплуатационным данным.

Для обеспечения требуемой работоспособности сечения вала правильно задают коэффициент безопасности, равный $\tau_{\text{шпн}} / [\tau]$. При этом расчетные параметры часто рассматривают как детерминированные величины, хотя в действительности они имеют рассеяние. Надежность сечения вала оценивают по критерию прочности, если его расчетное значение $\tau_{\text{шпн}}$ меньше предельного $[\tau]$.

Область перекрытия плотностей распределений случайных величин $f(\tau_{\text{шпн}})$ и $f([\tau])$ на интервале от математического ожидания случайной величины $\bar{\tau}_{\text{шпн}}$ до математического ожидания случайной величины $[\bar{\tau}]$ заштрихована (рис.2).

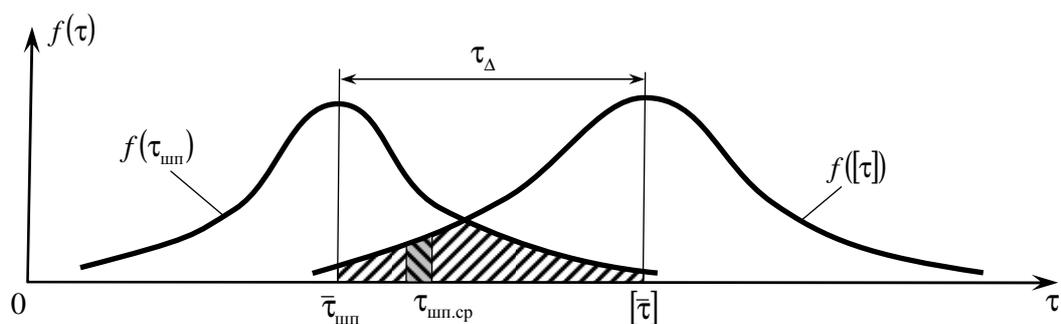


Рис.2. Графики плотностей распределения случайных величин

Вероятность безотказной работы шпинделя можно записать в виде

$$P(t) = P([\tau] \geq \tau_{\text{шпн}}) = P([\tau] - \tau_{\text{шпн}} \geq 0).$$

Выделяя в области перекрытия плотностей распределений небольшой интервал и записывая вероятность попадания величины $\tau_{\text{шпн}}$ в данный интервал, а также вероятность того, что $[\tau]$ превышает среднее значение $\tau_{\text{шпн.ср}}$, задаваемое этим интервалом, можно получить выражение для вероятности безотказной работы

$$P([\tau] \geq \tau_{\text{шпн}}) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau_{\text{шпн}}) \left[\int_{\tau_{\text{шпн.ср}}}^{\tau_{\text{шпн}}} f([\tau]) d[\tau] \right] d\tau_{\text{шпн}}$$

Используя это выражение, можно вычислить вероятность безотказной работы шпинделя при различных сочетаниях законов распределения расчетного $\tau_{\text{шпн}}$ и предельного $[\tau]$ значений критерия прочности.

Вводя случайную величину $\tau_{\Delta} = [\bar{\tau}] - \bar{\tau}_{\text{шпн}}$, можно определить вероятность безотказной работы

$$P(t) = P(\tau_{\Delta} \geq 0).$$

Допустим, что $[\tau]$ и $\tau_{\text{шпн}}$ — независимые неотрицательные случайные величины.

Тогда плотность распределения случайной величины $\tau_{\Delta} \geq 0$ имеет вид

$$f(\tau_{\Delta}) = \int_0^{\infty} f(\tau_{\Delta} + \tau_{\text{шн}}) f(\tau_{\text{шн}}) d\tau_{\text{шн}}.$$

Следовательно, вероятность безотказной работы объекта при различных сочетаниях законов распределения $[\tau]$ и $\tau_{\text{шн}}$ можно определить согласно зависимости:

$$P(t) = \int_0^{\infty} f(\tau_{\Delta}) d\tau_{\Delta} = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} f(\tau_{\Delta} + \tau_{\text{шн}}) d\tau_{\text{шн}} d\tau_{\Delta}.$$

При постепенных отказах, таких как износ, функция изменения параметра $\tau_{\text{шн}}$ во времени непрерывна. Отказ произойдет тогда, когда параметр X_p достигнет предельного значения X_n (максимального — при возрастании, минимального — при уменьшении X_p). Скорость процесса $\gamma(x)$ изменения параметра X_p как случайного процесса зависит от сочетания влияющих на нее факторов. Например, скорость изнашивания бронзового вкладыша при прочих равных условиях будет больше в том шарнире, в котором больше давление на контакте и скорость скольжения, но хуже условия смазки. Распределение скоростей $\gamma(x)$ протекания процесса характеризуется кривой плотности вероятности $f(\gamma)$. На графике, иллюстрирующем линейную зависимость $X_p(t)$, например абразивное изнашивание $U = \gamma_{\text{cp}}(t)$, видно, что центр группирования значений X_p смещается от начального положения X_0 к предельному X_n (рис.3). Математическое ожидание m_{X_p} параметра X_p увеличивается с течением времени: $m_{X_p} = X_{p_0} + \gamma_{\text{cp}} t$.

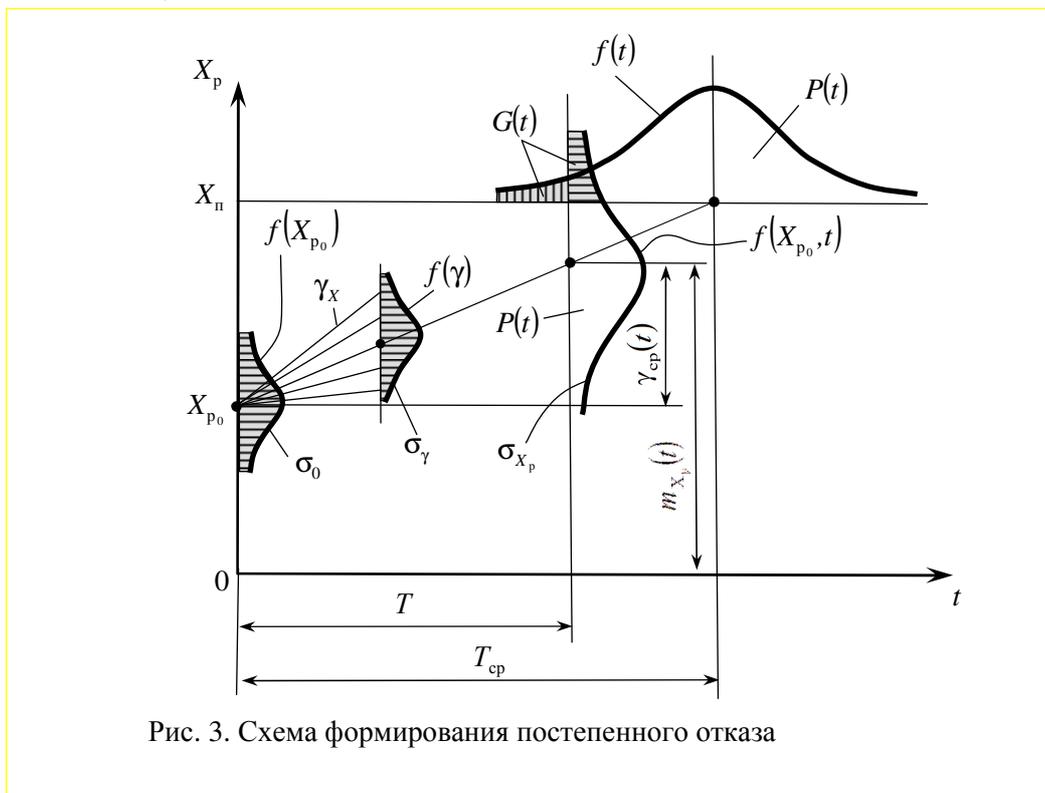


Рис. 3. Схема формирования постепенного отказа

Растет и рассеяние значений X_p относительно центра группирования, характеризуемое средним квадратическим отклонением: $\sigma_{X_p} = \sqrt{\sigma_0^2 + \sigma_\gamma^2 t^2}$.

Вместо кривой $f(X_{p_0})$ получаем кривую $f(X_p, t)$, выход которой за пределы X_n означает отказ. Площадь, ограниченная кривой $f(X_p, t)$ и прямой $t = T$, равна единице. Та ее часть, которая выше прямой $X_p = X_n$, численно равна вероятности отказа $G(t = T)$. Другая часть площади, что ниже прямой $X_p = X_n$, представляет собой вероятность безотказной работы $P(t = T)$. По распределениям $f(X_p, t)$ можно построить график $f(t)$ распределения времени t работы объекта до отказа или до предельного состояния. Зная плотность вероятности $f(t)$, можно оценить вероятность безотказной работы $P(t)$ в любой момент времени $t = T$. Она численно равна площади под кривой $f(t)$, расположенной правее линии $t = T$,

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} t f(t) dt.$$

В случае постепенных отказов обычно используют нормальное распределение, являющееся универсальным для практических расчетов.

Дифференциальная функция нормального распределения

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t - m_t)^2}{2\sigma_t^2}\right].$$

Нормальное распределение имеет два параметра: математическое ожидание m_t и среднее квадратичное отклонение σ_t (рис.4).

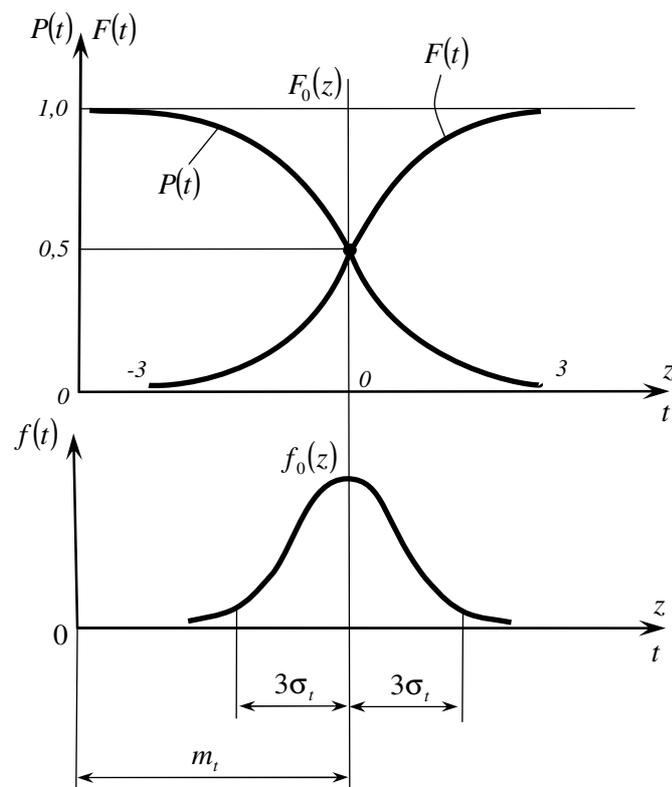


Рис.4. Нормальное распределение: *a* — вероятность безотказной работы $P(t)$ и интегральная функция распределения $F(t)$; *b* — плотность вероятности $f(t)$

Их значения оценивают по результатам N испытаний:

$$m_t \approx T_{\text{cp}} = \bar{t} = \frac{\sum t_i}{N};$$

$$\sigma_t \approx \sqrt{\left(\frac{1}{N-1}\right) \left(\sum t_i - \bar{t}\right)^2},$$

где \bar{t} и σ_t — оценки математического ожидания и среднего квадратичного отклонения.

Интегральная функция распределения

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(t) dt$$

Вероятность отказа $G(t)$ и вероятность безотказной работы $P(t)$

$$G(t) = F(t) = \int_{-\infty}^t f(t) dt$$

$$P(t) = 1 - \int_{-\infty}^t f(t) dt = 1 - \int_{-\infty}^t \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-m_t)^2}{2\sigma_t^2}\right] dt.$$

Вычисление интегралов заменяют использованием таблиц для нормального распределения, но не как функции двух параметров $(t-m_t)$ и σ_t , поскольку в этом случае таблицы были бы громоздкими, а как функции одного параметра z :

$$z = \frac{t-m_t}{\sigma_t}.$$

Тогда функция плотности вероятности $f_0(z)$ будет иметь вид:

$$f_0(z) = f(t)\sigma_t = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2}.$$

Величина z является центрированной, так как $m_z = 0$, и нормированной, так как $\sigma_z = 1$. Функция плотности распределения записывается в относительных координатах с началом на оси симметрии петли.

Интегральная функция как интеграл от плотности вероятности описывается зависимостью

$$F_0(z) = \int_{-\infty}^z f_0(z) dz,$$

из которой следует, что $F_0(z) + F_0(-z) = 0$.

Плотность распределения $f(t)$, вероятность отказа $G(t)$ и безотказной работы $P(t)$ определяют согласно зависимостям

$$f(t) = f_0(z)/\sigma_t; \quad G(t) = F_0(z); \quad P(t) = 1 - F_0(t),$$

где значения $f_0(z)$ и $F_0(z)$ берут из таблиц.

Вместо интегральной функции распределения $F_0(z)$ иногда пользуются функцией Лапласа

$$\Phi(z) = \int_0^z f_0(z) dz = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-z^2/2} dz$$

и соответственно

$$F_0(z) = \int_{-\infty}^t f_0(z) dz + \int_0^t f_0(z) dz = 0,5 + \Phi(z).$$

Вероятность отказа $G(t)$ и безотказной работы $P(t)$ выражают через функцию Лапласа и записывают следующим образом:

$$G(t) = 0,5 + \Phi\left(\frac{t - m_t}{\sigma_t}\right); P(t) = 0,5 - \Phi\left(\frac{t - m_t}{\sigma_t}\right).$$

Наряду с оценкой вероятности безотказной работы $P(t)$ за данную наработку нередко требуется решить обратную задачу — определить время или наработку, соответствующие заданной вероятности безотказной работы $P(t)$. Эту наработку (время) определяют с помощью квантилей нормированного нормального распределения $t = m_t + a\sigma_t$, значения которых даются в таблицах.

Литература

1. Колесников А.Г., Вафин Р.К., Мальцев А.А. Аппаратура для мониторинга остаточного ресурса прокатных станов // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2006. №4. С.71 – 73.
2. Система мониторинга привода клетки 400 сортопрокатного стана / Р.К. Вафин, Б.А. Серман, А.А. Мальцев и др. // Сталь. 2000. №12. С.28 – 29.
3. Яковлев Р.А. Расчет надежности соединений и передач прокатных станов. учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 60 с.