

поковок // Кузнечно-штамповочное производство. – 1977. - №11. – С.35-39. **4. Марков О.Е., Янчук С.В.** Применение укороченных слитков при ковке крупных поковок // X Всеукр. науч.-практ. конф. «Технологія – 2007» – Северодонецьк, 2007. – С. 8. 19-20 квітня 2007 р. **5. Дурьинин В.А., Солнцев Ю.П.** Исследование и совершенствование технологии производства с целью повышения ресурса стальных изделий из крупных поковок ответственного назначения. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2006. – 272с.: ил. ISBN 5-93808-127-0. **6. Марков О.Е.** Совершенствование технологического процессаковки крупных валов на базе DEFORM – 3D // «Инженерные системы – 2011»: Сб. научн. трудов. – Москва, 5-8 апреля 2011. – Том №1. – М.: РУДН, 2011. С. 142-146. ISSN 978-5-209-04053-8. **7. Пат. 13809** Україна, МКИ5 В 22 D7/06. Виливниця для відливання злитків. / *Марков О.Є., Алієв І.С.* Заявл. 31.10.05.; Опубл. 17.04.06. Бюл. №4. **8. Марков О.Е., Олешко М.В., Гордеев А.Е.** Исключение операции осадки при ковке крупных поковок за счёт применения укороченных слитков // Интеллект молодых производству – 2007: V Междунар. науч.-практ. конф. НКМЗ. – Краматорськ, 2007. – С. 4-5.

## УДК.62.762

**ГАПОНОВ В.С.**, докт.техн.наук, проф., НТУ “ХПИ”, Харьков  
**МУЗЫКИН Ю.Д.**, канд.техн.наук, проф., НТУ “ХПИ”, Харьков  
**СТОЛБОВОЙ А.С.**, канд.техн.наук, проф., НТУ “ХПИ”, Харьков  
**ТАТЬКОВ В.В.**, канд.техн.наук, вед. научн.сотр., НТУ “ХПИ”, Харьков  
**ВЫШНИВЕЦКИЙ С.М.**, зам.нач. ЦГПТЛ, ОАО “Запорожсталь”  
**ТЕЛЮК Д.В.**, начальник ОТОФ ОАО “Запорожсталь”

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИЛОВОГО РЕДУКТОРА ЧИСТОВОЙ КЛЕТИ ТОНКОЛИСТОВОГО СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ «1680»**

Рассмотрены результаты фактического нагружения силового редуктора и определен закон изменения режимов его работы. Представленные результаты могут быть использованы при оценке надежности работы прокатного стана в целом.

Розглянуті результати фактичного навантаження силового редуктора та визначено закон змінювання режиму його роботи. Подані результати можуть бути використані при оцінці надійності роботи прокатного стану у цілому.

The empirical-formula dependence of change of a torque in time is obtained, which one allows to determine duration of operating of different loads applied (put) to the reduction gearbox

Для определения остаточного ресурса работы зубчатой передачи силового редуктора прокатного стана используется принцип линейного суммирования повреждений за конкретный период работы [1], а это возможно только при знании закона распределения этих повреждений, который может быть установлен экспериментально. Повышение надежности работы высокотехнологического оборудования, каким является непрерывный тонколистовой стан горячей прокатки «1680», установленный в ЦГПТЛ Запорожского металлургического комбината «Запорожсталь», возможно лишь при учете всех эксплуатационных факторов, влияющих на эффективность работы как отдельных элементов, так и всей системы в целом. Чем сложнее функциональное назначение каждого

элемента и чем их больше в системе, тем больше вероятность возникновения отказов. Результаты наблюдений за надежностью работы отдельных механических элементов стана в период с 1998 г. по 2004 г. показали высокую частоту выхода из строя силового редуктора чистой клетки № 5, что приводит к остановке стана и неоправданным экономическим потерям. Анализ причин выхода из строя силового редуктора показал, что наиболее серьезные отказы связаны с усталостным разрушением зубьев вал-шестерни, которые обусловлены деформацией изгиба.

С целью исключения аварийных ситуаций на стане по причине отказов силового редуктора клетки № 5 были изучены условия его нагружения с фиксацией в качестве интегрального показателя крутящего момента на ведущем валу. Для получения объективного показателя исследуемого параметра была рассмотрена репрезентативная выборка, включающая непрерывную работу клетки № 5 НТЛС «1680» в течение 5 дней. Выборка является случайной, т.к. вероятность ее образования из генеральной совокупности имеет равную возможность с другими выборками.

Анализ проводился по параметру крутящего момента на валу электродвигателя AMZ1600GF12MSBA, который непосредственно соединен с вал-шестерней редуктора, и фиксировался на диаграмме в реальном режиме времени. Обработка результатов измерений выполнена методами математической статистики.

В качестве исходных данных было установлено, что границы изменения крутящего момента лежат в пределах  $T_{\min} = 40$  кНм;  $T_{\max} = 165$  кНм. С учетом точности измерения, а также возможностей расшифровки принято 5 интервалов с шагом 25 кНм.

I интервал	40-65 кНм,
II интервал	65-90 кНм,
III интервал	90-115 кНм,
IV интервал	115-140 кНм,
V интервал	140-165 кНм.

Для каждого интервала произведен подсчет частот и частостей эмпирического распределения и построена гистограмма распределения непрерывной случайной величины крутящего момента и длительности работы на каждом интервале (рис. 1). Длительность работы на каждом интервале нагружения определялась в предположении, что возможность появления каждого импульса равновероятна, временной интервал их следования постоянен и равен 40,97 с. Такое предположение обосновано, т.к. исследуемая выборка включала 10550 независимых измерений за достаточно длительный промежуток времени в 120 часов.

Из рассмотрения гистограммы с учетом того, что непрерывная случайная величина крутящего момента является функцией большого числа взаимно независимых параметров, таких как температура сляба, марка катаемой стали, геометрические параметры листа и т.д., согласно теоремы Ляпунова следует, что исследуемый крутящий момент подчиняется нормальному закону распределения

[2]. Это позволяет провести обработку статистических данных и определить характеристики эмпирического распределения.

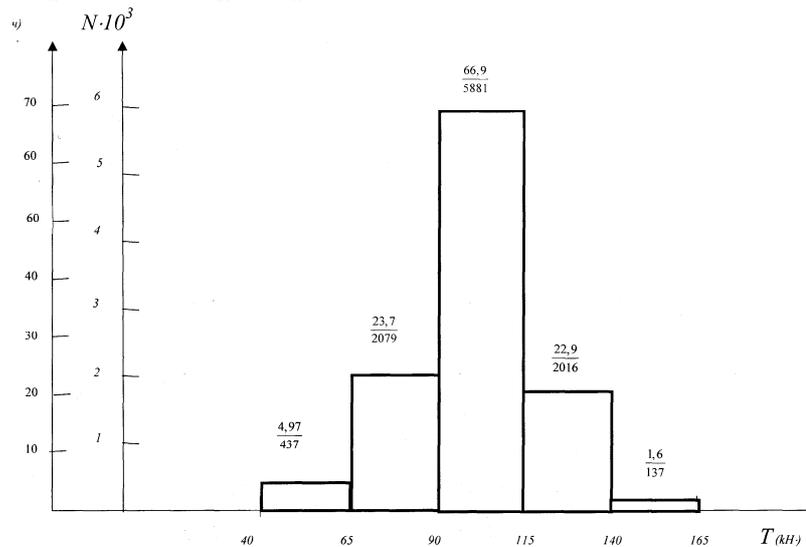


Рис.1. Эмпирическая гистограмма распределения крутящего момента и длительности работы на каждом интервале.

Произведем сопоставление эмпирического распределения с теоретическим нормальным. Так как рассматриваемая выборка является репрезентативной, можно принять, что среднее арифметическое значение случайной величины и ее среднее квадратическое отклонение для генеральной совокупности и для рассматриваемой выборки одинаковые, т.е.  $\bar{X}_0 \approx \bar{X}$ ;  $\sigma_0 \approx S$ . Тогда

$$\bar{X} = \frac{\sum f_i X_i}{n}; \quad S = \sqrt{\frac{\sum f_i (X_i - \bar{X})^2}{n}},$$

где  $X_i$  - середина интервала;  $f_i$  - частота эмпирического распределения;  $n$  - суммарное число проведенных измерений.

По результатам расчета

$$\bar{X} = 101 \text{ кНм}; \quad S = 19,4 \text{ кНм}.$$

Для возможности сопоставления составим вспомогательную таблицу 1.

Таблица 1 Статистические параметры распределения

X		X <sub>i</sub>	f <sub>i</sub>	t <sub>i</sub>	Z <sub>t</sub>	f' = $\frac{nc}{S} Z_t$
От	до					
40	65	52,5	437	2,5	0,0175	238
65	90	77,5	2079	1,21	0,1919	2609
90	115	102,5	5881	0,077	0,3977	5407
115	140	127,5	2016	1,37	0,1561	2122
140	165	152,5	137	2,65	0,0119	162

$$t = \frac{|X_i - \bar{X}|}{S} - \text{промежуточный коэффициент,}$$

$$Z_t = f(t) - \text{характеристика нормального закона распределения,}$$

$f' = \frac{nc}{S} Z_i$  - теоретическая частота при нормальном законе распределения,

$C$  - шаг интервала, равный 25 кНм.

Из рассмотрения соответствующих значений  $f_i$  и  $f'_i$  следует, что эмпирическое распределение и теоретическое нормальное хорошо согласуются. Покажем это визуально.

Построим по гистограмме полигон распределения крутящего момента и наложим на него теоретический нормальный закон распределения [3]. Для этого определим координаты характерных точек кривой нормального распределения (табл. 2).

Таблица 2. Дискретные значения нормального распределения

Абсцисса	$X = \bar{X}$	$X = \bar{X} \pm S$	$X = \bar{X} \pm 2S$	$X = \bar{X} \pm 3S$
Ордината	$f_{\bar{X}} = 0,4 \frac{nc}{S}$	$f_S = 0,242 \frac{nc}{S}$	$f_{2S} = 0,054 \frac{nc}{S}$	$f_{3S} = 0$

Результаты расчета показывают:

$$f_{\bar{x}} = 5438 \text{ кНм}, \quad f_S = 3290 \text{ кНм}, \quad f_{2S} = 734 \text{ кНм}, \quad f_{3S} = 0.$$

Сравнение эмпирического и теоретического нормального законов распределения представлено на рис. 2.

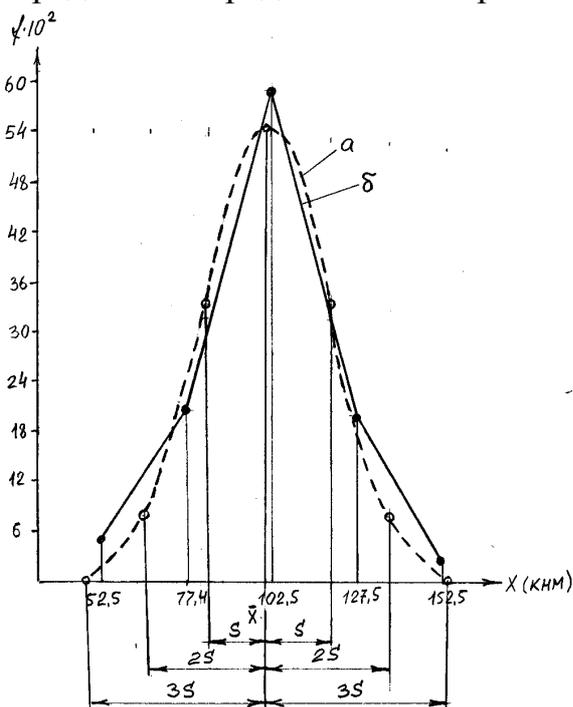


Рис. 2. Кривые нормального распределения

а) теоретическая; б) эмпирическая.

Сравнение полученных кривых свидетельствует о высокой степени их согласования, а это позволяет сделать вывод о том, что характер нагружения силового редуктора клетки № 5 подчиняется нормальному закону распределения. Следовательно, при оценке среднего значения крутящего момента, определяемого по диаграмме за рассматриваемый промежуток времени, его можно определять как средневзвешенное значение между максимальной и минимальной величиной крутящего момента.

Наличие временных характеристик на гистограмме (рис. 1) позволяет интерпретировать их как вероятностную зависимость длительности действия различных нагрузок, приложенных к редуктору

при определении его надежности, ресурса, срока службы и так далее.

Таким образом, анализ диаграмм крутящего момента на ведущем валу силового редуктора чистой клетки № 5 НТЛС «1680» показал, что при рассмотрении рабочих характеристик зубчатого зацепления можно принять, что режим его нагружения подчиняется нормальному закону распределения и

соответствует полученным гистограммам, а это позволяет устанавливать длительность действия различных нагрузок, приложенных к редуктору.

**Выводы:** на основании выполненных экспериментальных исследований по определению условий работы силового редуктора чистовой клетки непрерывного тонколистового стана горячей прокатной «1680» было установлено, что режим его нагружения подчиняется нормальному закону распределения, а, следовательно, при определении остаточного ресурса работы зубчатой передачи можно использовать принцип линейного суммирования повреждений. Полученный результат носит не частный, а общий характер, позволяющий при оценке надежности работы прокатного стана в целом использовать найденный закон распределения и для других элементов, так как условия нагружения силового редуктора можно считать интегральным показателем работы всего стана.

**Список литературы:** 1. ГОСТ 21354-87. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет на прочность. – М.: Изд-во стандартов. 1988.-127 с. 2. Солонин И.С. Математическая статистика в технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 1972.- 215 с. 3. Дисонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике. – М.: «Мир», 1981.

**ИССЛЕДОВАНИЕ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**УДК 621.771.23**

**БАЙКОВ Е.В.**, ст. преподаватель, ДонНТУ, Донецк

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОЙ РАЗНОТОЛЩИННОСТИ  
ПОЛОС И ЛЕНТ ПРИ АСИММЕТРИЧНОЙ ХОЛОДНОЙ  
ПРОКАТКЕ\***

Приведены результаты исследования продольной разнотолщинности полос и лент при прокатке на непрерывном и реверсивных станах. Установлено, что при постоянном модуле жесткости клетки соотношение коэффициентов выравнивания продольной разнотолщинности при асимметричной и симметричной прокатке определяют соотношение модулей жесткости полосы при симметричном и асимметричном процессах и модуль жесткости полосы при асимметричной прокатке.

Наведено результати дослідження поздовжньої різновтовщинності штабів та стрічок при прокатці на безперервному і реверсивних станах. Встановлено, що при постійному модулі жорсткості кліті співвідношення коефіцієнтів вирівнювання поздовжньої різновтовщинності при симетричній та асиметричній прокатці визначають співвідношення модулів жорсткості штаби при симетричному та асиметричному процесам і модуль жорсткості штаби при асиметричній прокатці.

Variations in thickness sheet and strip are research on the continuous and reversings mills. It is set, that at constant the module inflexibility of stand relationship coefficients equalization of variations in

\* Работа выполнена под руководством д.т.н., проф. Горелика В.С.