

УДК 621.31:621.771.06-88

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СНИЖЕНИЯ ПРЕДЕЛА
ВЫНОСЛИВОСТИ ГАЛТЕЛИ РАБОЧЕГО ВАЛКА****Андрей Анатольевич Мальцев**

доцент кафедр ФН-7 и МТ-10 МГТУ им Н.Э. Баумана

e-mail: a.a.mal@bmstu.ru**Аннотация**

Установлена степень влияния величины большего диаметра галтели на величину коэффициента снижения предела выносливости рабочего валка металлопрокатного стана в месте плавного перехода от шейки к бочке.

Ключевые слова: металлургия, рабочий валок, предел выносливости.

**STUDY OF THE COEFFICIENT OF REDUCTION OF THE ENDURANCE
LIMIT OF THE WORKING ROLL GALTELI****Andrey A. Maltsev**

associate professor, BMSTU FN-7 and MT-10 Departments

e-mail: a.a.mal@bmstu.ru**ABSTRACT**

The degree of influence of the value of the larger diameter of the throat the magnitude of the coefficient of reduction in the endurance limit of the work roll rolling mill in place of a smooth transition from the neck to the barrel.

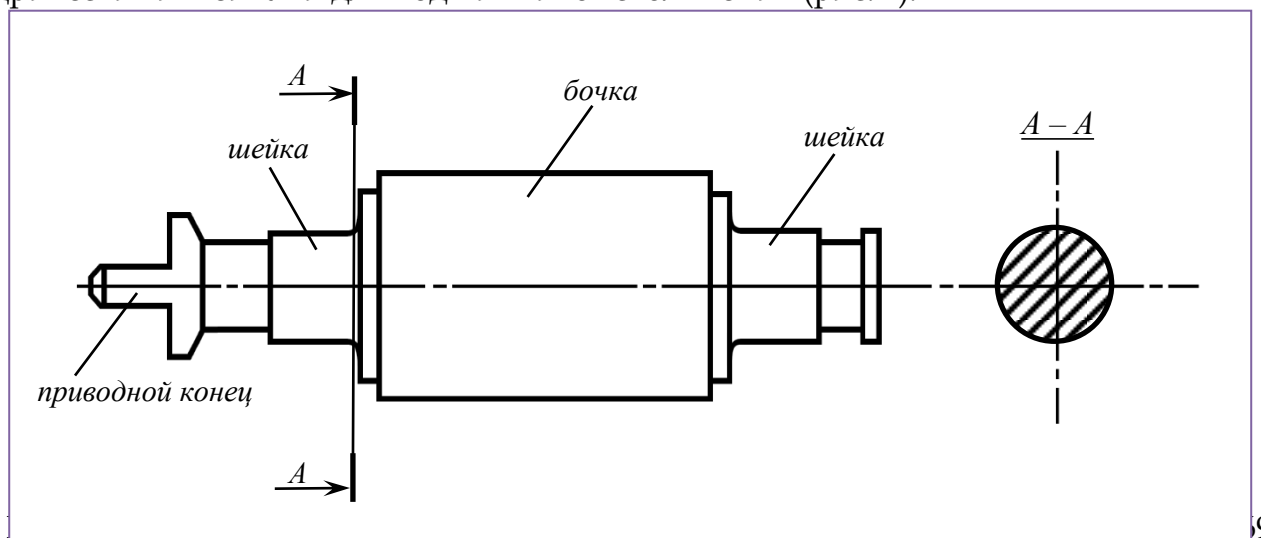
Keywords: metallurgy, working roll, the limit of endurance.

Введение

Расход рабочих валков составляет значительную часть себестоимости выпускаемой металлопродукции, поэтому предъявляют достаточно высокие требования к циклической (усталостной) прочности этого основного технологического инструмента металлоркатного стана.

По форме шеек различают прокатные валки с цилиндрическими шейками под подшипники скольжения, с цилиндрическими шейками под подшипники качения и с коническими шейками под подшипники жидкостного трения.

Объект исследования – рабочий валок металлоркатного стана с цилиндрическими шейками для подшипников скольжения (рис. 1).



«Валки прокатные. Основные размеры», а размеры приводного конца рабочего валка «стандартом не устанавливаются и принимаются в соответствии с действующими стандартами и с чертежами, утвержденными в установленном порядке».

Крутильные колебания, возникающие в электроприводе прокатного стана после ударного захвата заготовки рабочими валками[1], обуславливают циклический характер распределения касательных напряжений в сплошном круглом поперечном сечении А-А (рис. 2).

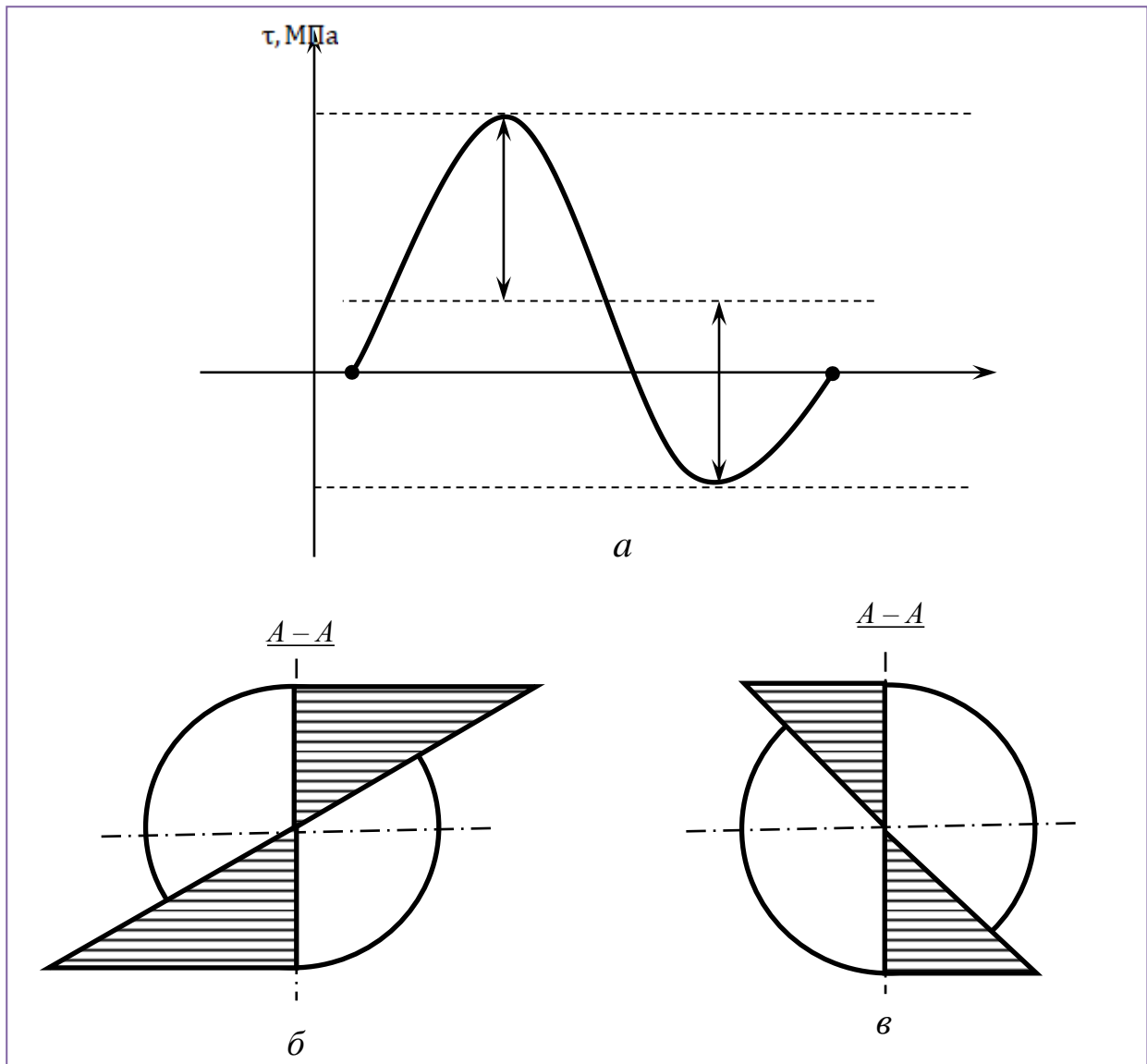


Рисунок 2. Касательные напряжения τ в опасном сечении А-А:
 а – асимметричный цикл напряжений с амплитудой τ_a ;
 б – эпюра для максимального напряжения цикла τ_{max} ;
 в – эпюра для минимального напряжения цикла τ_{min}

Разрушение металлов при циклическом нагружении отличается от разрушения при однократных перегрузках особым видом излома (рис. 3).

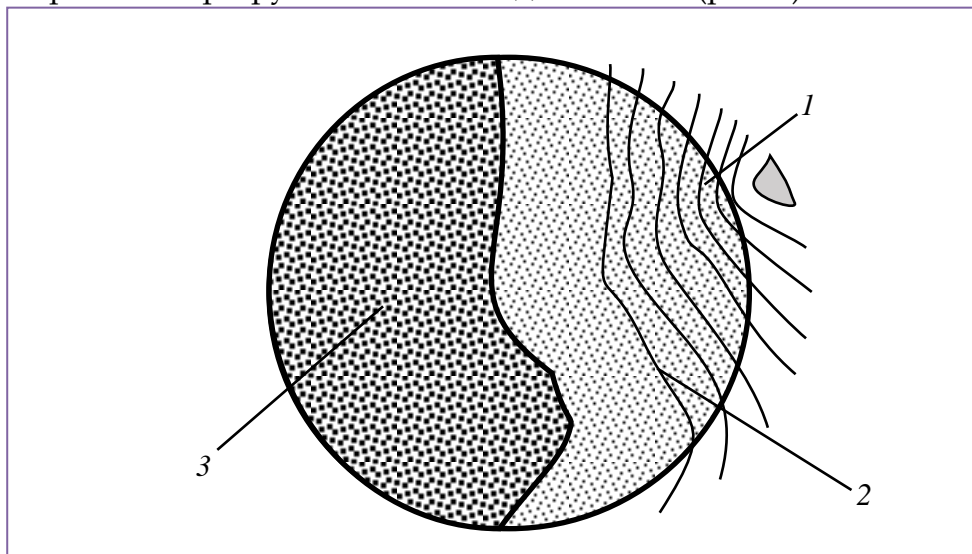


Рисунок 3. Усталостный излом рабочего вала в опасном сечении А-А:

- 1 – фокус излома (очаг зарождения усталостной трещины);
- 2 – усталостные линии (зона постепенного роста трещины);
- 3 – зона долома (внезапное хрупкое разрушение вала)

Фокус излома наблюдается в наиболее нагруженной части сечения А-А (на поверхности рабочего вала) или в месте расположения дефекта металла. Циклическое нагружение приводит к микроскопическим сдвигам некоторых зёрен металла, образуются микроскопические выступы (экструзии) и впадины (интрузии), зарождаются усталостные микротрещины, которые срачиваются в макротрещину. Под циклической нагрузкой макротрещина интенсивно развивается, ее края притираются друг к другу (полируются), поэтому зона роста трещины отличается гладкой поверхностью, на которой можно рассмотреть усталостные линии. По мере разрастания макротрещины рабочая (неповрежденная) площадь опасного сечения А-А постепенно уменьшается до тех пор, пока не произойдет внезапное хрупкое разрушение рабочего вала.

Предмет исследования – циклическая прочность кольцевой галтели в месте перехода от шейки к бочке рабочего вала (рис. 4).

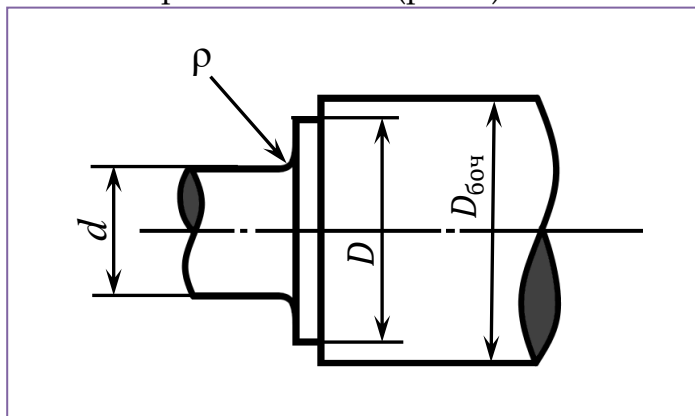


Рисунок 4. Геометрические размеры кольцевой галтели:

$D_{\text{боч}}$ – диаметр бочки рабочего вала, мм;

D – больший диаметр галтели, мм;

d – меньший диаметр галтели, мм;

ρ – радиус закругления галтели, мм

Цель исследования – установить степень влияния большего диаметра кольцевой галтели (D) на коэффициент снижения ее предела выносливости (K) при неизменных остальных размерах ($D_{\text{боч}}$, d и ρ).

Задачи исследования:

Эксперимент №1 – варьируя в широком диапазоне величину большего диаметра кольцевой галтели (D), определить границы диапазона изменения теоретического коэффициента концентрации касательных напряжений (α_{τ}), возникающей в опасном сечении А – А при кручении.

Эксперимент №2 – варьируя в найденном ранее диапазоне величину коэффициента концентрации касательных напряжений (α_{τ}), исследовать влияние этого конструктивного фактора на коэффициент снижения предела выносливости кольцевой галтели (K).

Материалы и методы исследования

Исходные данные – предел прочности стали ($\sigma_s = 850$ МПа), из которой изготовлен рабочий валок, шероховатость поверхности кольцевой галтели ($R_z = 6,3$ мкм) и геометрические размеры галтели (табл. 1).

Таблица 1. Геометрические размеры кольцевой галтели (см. рис. 4)

Опыт	$D_{\text{боч}}$ мм	D , мм	d , мм	D/d	ρ , мм	ρ/d
1	300	200	150	1,33	20	0,13
2		205		1,37		
3		210		1,40		
4		215		1,43		
5		220		1,47		
6		225		1,50		
7		230		1,53		
8		235		1,57		
9		240		1,60		
10		245		1,63		
11		250		1,67		

Материалы исследования – ГОСТ 25.504-82 «Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета характеристик сопротивления усталости» (размерность всех напряжений – МПа, все геометрические размеры – мм), в основу которого положена статистическая теория подобия усталостного разрушения Серенсена-Когаева-Шнейдеровича [2]. Предложенные им методы расчета характеристик сопротивления усталости учитывают влияние разных конструктивных факторов на циклическую прочность детали по результатам лабораторных испытаний на растяжение-сжатие стандартных образцов, изготовленных из того же материала, что и деталь.

Теоретический коэффициент концентрации касательных напряжений τ при кручении переходного участка рабочего вала с кольцевой галтелью

$$a_{\tau} = 1 + \frac{1}{\sqrt{\frac{6,8\rho}{D-d} + 19,0 \frac{\left(1 + \frac{d}{2\rho}\right)^2}{\left(\frac{d}{2\rho}\right)^3} + \frac{4\rho}{(D-d)^2} \cdot \frac{d}{D}}}, \quad (1)$$

Относительный градиент \bar{G}_{τ} [мм⁻¹] характеризует скорость убывания касательного напряжения τ по мере его удаления от места концентрации:

$$\bar{G}_{\tau} = \frac{1,15}{\rho} + \frac{2}{d}. \quad (2)$$

Относительный критерий подобия усталостного разрушения

$$\theta = \frac{\pi d}{88,3 \bar{G}_{\tau}}. \quad (3)$$

Коэффициент чувствительности металла к концентрации напряжений и масштабному фактору в случае изгиба или растяжения-сжатия

$$v_{\sigma} = \begin{cases} 0,211 - 0,000143 \sigma_{\text{в}}, & \text{при } \sigma_{\text{в}} \leq 1300 \text{ МПа}; \\ 0,025, & \text{при } \sigma_{\text{в}} > 1300 \text{ МПа}, \end{cases} \quad (4)$$

а при кручении

$$v_{\tau} = 1,5 v_{\sigma}, \quad (5)$$

Коэффициент влияния шероховатости поверхности в случае изгиба или растяжения-сжатия

$$K_{F\sigma} = 1 - 0,22 \lg R_z \left(\lg \frac{\sigma_{\text{в}}}{20} - 1 \right). \quad (6)$$

Коэффициент влияния шероховатости поверхности для кручения

$$K_{F\tau} = 0,575 K_{F\sigma} + 0,425. \quad (7)$$

Коэффициент снижения предела выносливости

$$K = \frac{2a_{\tau}}{1 + \theta^{-v_{\tau}}} + \frac{1}{K_{F\tau}} - 1. \quad (8)$$

Полученные результаты

Ниже приведены результаты расчетных экспериментов, выполненных в компьютерной среде MathCAD (табл. 2, рис. 5) по формулам (1) – (8).

Таблица 2. Результаты экспериментов №1 и №2

Опыт	D , мм	Коэффициент α_T	Коэффициент K
1	200	1,303	1,738
2	205	1,306	1,742
3	210	1,310	1,747
4	215	1,312	1,750
5	220	1,315	1,754
6	225	1,317	1,756
7	230	1,319	1,759
8	235	1,320	1,760
9	240	1,322	1,763
10	245	1,323	1,764
11	250	1,324	1,765

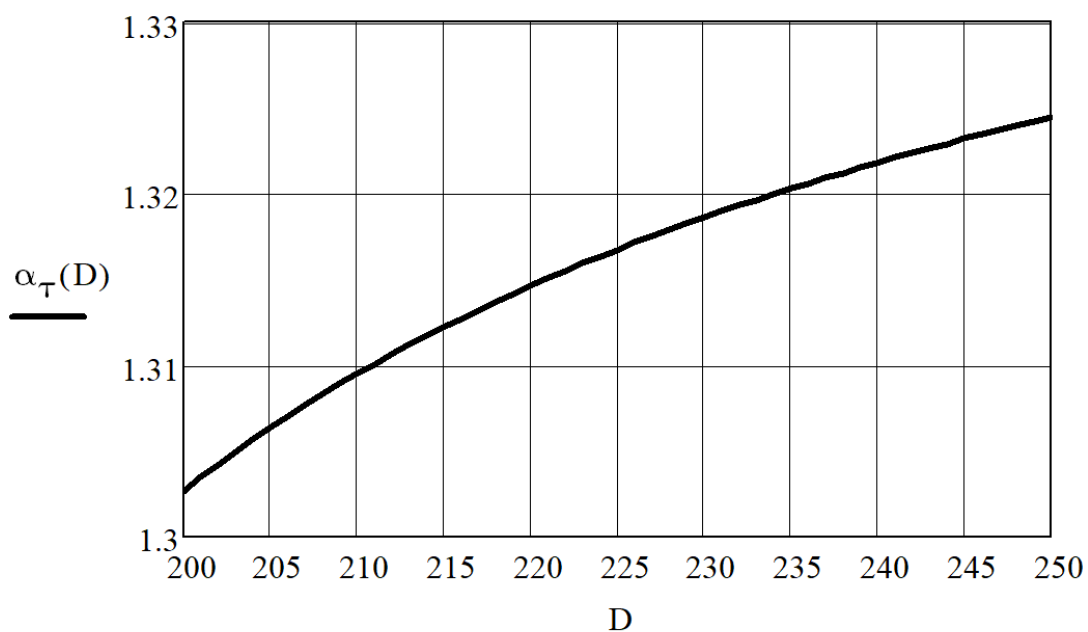


Рисунок 5. Результаты эксперимента №1

Выводы

1. Для расчета характеристик циклической прочности кольцевой галтели рабочего вала (материал – сталь, поперечное сечение – до 300 мм, температура от -40°C до $+100^{\circ}\text{C}$, частота циклического нагружения от 1 до 300 Гц) применим ГОСТ 25.504-82 «Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета характеристик сопротивления усталости».

2. В результате эксперимента №1 установлено, что теоретический коэффициент концентрации касательных напряжений при кручении (a_{τ}) лишь незначительно возрастает от 1,303 до 1,324 по мере увеличения большего диаметра кольцевой галтели (D) от 200 до 250 мм.

3. В результате эксперимента №2 установлено, что коэффициент снижения предела выносливости кольцевой галтели (K) немного возрастает от 1,738 до 1,765 с увеличением теоретического коэффициента концентрации касательных напряжений (a_{τ}) от 1,303 до 1,324.

4. Изменение большего диаметра галтели (D) при прочих равных условиях оказало гораздо меньшее влияние на величину теоретического коэффициента концентрации касательных напряжений при кручении (a_{τ}) и, как следствие, на величину коэффициента снижения предела выносливости кольцевой галтели (K), чем изменение радиуса закругления галтели (ρ) [3].

Список литературы

1. Мальцев А.А. Исследование механических переходных процессов в электроприводе металлургической машины. – [Электронный ресурс] Оригинальные исследования (ОРИС), 2019, №8. – С. 29 – 42. – Режим доступа: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2019-oris-8-2019/a229791>
2. Когаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. – Москва:«Машиностроение», 1977. – 232 с.
3. Мальцев А.А. Исследование теоретического коэффициента концентрации напряжений в опасном сечении рабочего валка. – [Электронный ресурс] Оригинальные исследования (ОРИС), 2020, № 06. – С. 169– 178. – Режим доступа: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2020-oris-6-2020/a230002>

References

1. Maltsev A. A. Investigation of mechanical transients in the electric drive of a metallurgical machine. – [Electronic resource] original research (ORIS), 2019, No. 8. – Pp. 29–42. – Mode of access: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2019-oris-8-2019/a229791> [in Russian].
2. Kogaev V. P. Calculations for strength at stresses, variables in time. Moscow, Mashinostroenie, 1977. – 232 p. [in Russian].
3. Maltsev A. A. Study of the theoretical stress concentration coefficient in the dangerous cross section of the working roll. – [Electronic resource] Original research (ORIS), 2020, No. 06. – P. 169-178. – Access mode: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2020-oris-6-2020/a230002> [in Russian].