

УДК 658.52.011.56

**А.Н. Шелковой, профессор, д-р техн. наук**

*Харьковский национальный технический университет «ХПИ»  
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002,*

**Е.В. Мироненко, профессор, д-р техн. наук**

*Донбасская государственная машиностроительная академия  
ул. Шкадинова, 72, г. Краматорск, Донецкая обл., Украина, 84313*

**А.А. Клочко, доцент, канд. техн. наук**

*Харьковский национальный технический университет «ХПИ»  
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002,  
klochko21@rambler.ru*

## **АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КОНТАКТИРУЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗАКАЛЕННЫХ КРУПНОМОДУЛЬНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС**

*В статье рассмотрены технологические методы обеспечения производительности и качества зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес с учетом состояния поверхностного слоя, геометрических и физико-механических параметров, технологической "наследственности" на протяжении всего технологического цикла изготовления колес. Вершины выступов, которые вступили в контакт, имеют переходный характер деформаций от упругих к пластичным. Процесс пластических деформаций рассматривается относительно реальной поверхности зубчатого колеса, нормальной нагрузки, которая находится в контакте под действием нормальной нагрузки, величина ее пластических деформаций определяется формированием фактической площади контакта с учетом шероховатости, волнистости и макроотклонения поверхностного слоя закаленных зубчатых колес.*

**Ключевые слова:** *технологические методы, производительность, точность, качество, зубообработка, закаленные колеса, шероховатость, волнистость, макроотклонения, поверхностный слой*

Технологические основы обеспечения производительности и качества зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес учитывают состояние поверхностного слоя зубчатых колес во всех его геометрических и физико-механических аспектах с учетом технологической «наследственности» на протяжении всего технологического цикла изготовления колес.

В настоящее время имеется большое число математических зависимостей для определения эксплуатационных свойств деталей машин [1–3]. Однако эти зависимости, как правило, носят эмпирический характер, а имеющиеся теоретические уравнения не всегда учитывают состояние поверхностного слоя деталей во всех его геометрических и физико-механических аспектах. Так, подход к расчету контактной жесткости закаленных крупномодульных зубчатых колес, используемый в работе [1], не позволяет теоретически учесть влияние отдельных геометрических и физико-механических параметров состояния поверхностей зубчатых колес на их контактное взаимодействие.

В работах [1, 2] для моделирования шероховатости и волнистости использованы эллипсоид и сфера. Принятый в этих работах метод суперпозиции и определение вероятности встречи выступов шероховатости без учета волнистости и макроотклонения контактирующих поверхностей приводит к значительным погрешностям при расчетах контактных сближений, фактической площади контакта, числа контактов и нагрузки на единичный контакт, определяющих адгезионную и деформационную составляющие коэффициента трения.

Имеющиеся теоретические уравнения для расчета интенсивности износа [1, 3, 4], как правило, не учитывают отклонение формы и физико-механические свойства поверхностного слоя контактирующих закаленных крупномодульных зубчатых колес.

Контактирующие поверхности закаленных крупномодульных зубчатых колес имеют макро и микро-неровности, следовательно, первоначальный их контакт должен произойти только в трех точках. Напряжения в этих точках из-за малости фактической площади контакта значительно превышают напряжения сдвига, возникающие на критической глубине под поверхностью контакта. Даже при очень малых нагрузках эти напряжения значительно превышают предел текучести материала и вызывают начало пластических деформаций на вершинах выступов шероховатости, вступивших в контакт [1, 2].

Расчеты показывают, что вершины выступов, вступивших в контакт, имеют переходный характер деформаций от упругих к пластическим (табл. 1).

Если процесс пластических деформаций рассматривать применительно к реальной поверхности зубчатого колеса, находящейся в контакте под действием нормальной нагрузки, то, величина ее

пластических деформаций будет определяться формированием фактической площади контакта с учетом шероховатости, волнистости и макроотклонения (рис. 1):

$$A_r = P / (c' \sigma_T). \quad (1)$$

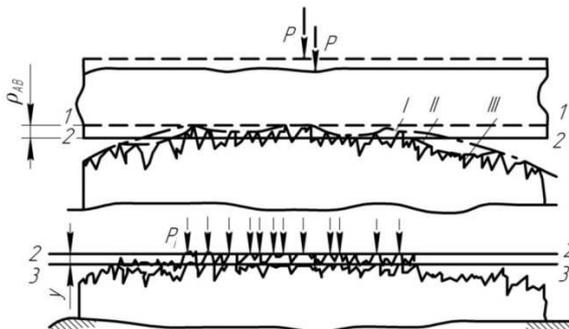


Рисунок 1 – Исходная схема для расчета нормальных контактных перемещений:

1 – 1 исходное положение сопрягаемой поверхности; 2–2 положение сопрягаемой поверхности с учетом пластических деформаций выступов; 3–3 конечное положение сопрягаемой поверхности (I – профиль макроотклонения; II – профиль волнистости; III – профиль шероховатости)

Эти пластические деформации будут иметь место при первичном приложении нагрузки к контактирующим поверхностям. Можно считать, что при повторном приложении нагрузки, по величине не превышающей первую, без взаимного смещения поверхностей вершины выступов будут иметь упругий характер деформаций. Увеличение нагрузки при повторном ее приложении на несмещенные поверхности выше первоначальной, очевидно, будет вызывать переход деформации вершин микронеровностей от упругих к пластическим в диапазоне этого увеличения. Очевидно, что с увеличением нагрузки происходят структурные изменения, которые резко меняют структурно механические и физические свойства. Особенно сильно увеличивается предел текучести. Так, для конструкционной стали, деформированной до 70%,  $\sigma_T$  увеличивается в 2,2 раза, а для легированной стали – в 4,2 раза.

Таблица 1 – Расчетные значения критических сближений

Вид обработки	Средне арифметическое отклонение профиля $R_a$ , мкм	$R_{\text{поп}}$ , мкм	$R_{\text{пр}}$ , мкм	$\frac{H_{\mu 0}}{H_{\text{мисх}}}$	$U_{\text{кр}}; U_{\text{нль}} \text{ мкм}$			
					Взаимно параллельное расположение следов обработки		Взаимно перпендикулярное расположение следов обработки	
Зубофрезерование	4,5	40	180	1,12	0,008	0,020	0,007	0,018
	2,5	50	240	1,04	0,004	0,023	0,0078	0,021
	0,9	60	480	1,03	0,011	0,028	0,0097	0,026
Скоростное зубофрезерование	1,9	10	200	1,48	0,0042	0,012	0,0029	0,008
	0,8	20	240	1,24	0,054	0,016	0,036	0,009
	0,40	40	680	1,24	0,0099	0,030	0,065	0,018
	0,20	45	1100	1,17	0,013	0,032	0,081	0,021
Накатывание коническими роликами	1,8	200	290	1,6	0,079	0,21	0,082	0,26
	0,8	300	450	1,2	0,062	0,19	0,064	0,16
	0,40	450	660	1,4	0,23	0,58	0,205	0,48
	0,20	550	1200	1,3	0,17	0,49	0,17	0,51
	0,10	600	1840	1,3	0,24	0,68	0,22	0,66

Кроме того, увеличение нагрузки вызывает расширение зоны пластических деформаций выступов до их оснований. Встречаясь между собой у основания неровностей, зоны пластических деформаций как

бы препятствуют своему распространению и дополнительно взаимно упрочняются. Эти два фактора приводят к постепенному увеличению предела текучести от  $\sigma_m$  до  $\sigma_{max}$ , а затем и до значения пластической твердости  $HD$ , при котором выступы неровностей достигают своего пластического насыщения ( $A, = \text{const}$ ).

Смещение поверхностей перед каждым новым приложением нагрузки вызывает упругие деформации уже пластически деформированных вершин выступов и пластическое деформирование вершин, ранее не контактировавших или имеющих перемещение, меньше критического. По мере многократных смещений и повторных приложений нагрузки все большая часть вершин микронеровностей будет деформировать упруго и меньшая их часть – пластически. Если связать это с процессом трения, то переход от пластического характера деформаций вершин выступов к упругому будет происходить в период приработки поверхностей.

Теоретический анализ геометрических характеристик контактирующих поверхностей показал, что распределение металла по высоте ординат профиля шероховатости и волнистости целесообразно описывать отдельными уравнениями до уровня средней линии и ниже средней линии. Учитывая это обстоятельство, а также результаты экспериментальных исследований шероховатости и волнистости [1, 5], показавшие, что моделировать их неровности целесообразно дифференцированно по выступам и впадинам. Расчеты показали, что вершины выступов шероховатости с небольшим допущением при первоначальном их контакте деформируют не упруго, а пластически.

Контактная жесткость сказывается на точности работы приборов, на точности установки деталей в приспособлениях, на точности обработки и сборки, т.е. на качестве машиностроительных изделий. Из физической картины контактного взаимодействия деталей машин следует, что нагрузка, приходящаяся на отдельный выступ контактирующих поверхностей

$$P_i = c\sigma_T A_{r1}, \tag{2}$$

где  $A_n$  – площадь контакта единичного выступа [1, 2].

Подставляя выражение  $A_n$  в формулу (2), получим

$$y_{non} = \frac{P_i}{\varepsilon' \sigma_T \left( \frac{\pi m s_m t_{nnp} s_{nnp}}{4 \times 10^4 R_{\rho}^{t/n_{non}} R_{\rho_{np}}^{t/n_{np}}} \right)^{\frac{n_{non} n_{np}}{n_{np} + n_{non}}}}. \tag{3}$$

Под действием силы  $p_i$  происходит не только пластическое деформирование вершины выступа, но и упругое перемещение образовавшейся зоны пластических деформаций в основной металл, величина которого для эллипсной площадки контакта может быть выражена следующим уравнением:

$$y_{yn} = \frac{1-\mu^2}{\pi E} \int_{A_{rt}} \frac{p_0 dA_{rt}}{r_t} = \frac{1-\mu^2}{\pi E} \int_0^{\pi} d\varphi \int_{2l_1} p_0 d_{r1}, \tag{4}$$

где  $p_o = c'\sigma_T$  – давление на фактической площадке контакта.

Производя интегрирование и ряд математических преобразований, получим

$$y_{yn} = 4 - \frac{1-\mu^2}{\pi E} k(e) a' c' \sigma_T, \tag{5}$$

где  $k(e)$  – эллиптический интеграл первого рода;  $e$  – эксцентриситет эллипсной площадки контакта.

$$e = \sqrt{1 - \left(\frac{a'}{c'}\right)^2} = 1 - \left\{ \frac{t_m S_m R_{pnp}^{\frac{1}{n_{np}}} \times \frac{1}{t_{mnp} S_{mnp} R_p^{n_{non}}} \times \frac{P_t}{c' \sigma_T \left( \frac{\pi_m S_m t_{mnp} S_{mnp}}{4 \cdot 10^4 R_p^{\frac{1}{n_{non}}} R_{pnp}^{\frac{1}{n_{np}}}} \right)^{\frac{n_{non} \cdot n_{np}}{n_{non} + n_{np}}}}{\left( \frac{n_{np} - n_{non}}{n_{non} n_{np}} \right)^2} \right\}, \quad (6)$$

$$a' = \frac{t_m S_m}{200} \frac{P_t}{R_p c' \sigma_T \left( \frac{\pi_m S_m t_{mnp} S_{mnp}}{4 \cdot 10^4 R_p^{\frac{1}{n_{non}}} R_{pnp}^{\frac{1}{n_{np}}}} \right)^{\frac{n_{non} \cdot n_{np}}{n_{non} + n_{np}}}} \cdot \frac{1}{n_{non}}. \quad (7)$$

Отсюда уравнение для определения суммарного перемещения вершины выступа будет иметь следующий вид:

$$y_t = \frac{P_t}{c' \sigma_T \left( \frac{\pi_m S_m t_{mnp} S_{mnp}}{4 \cdot 10^4 R_p^{\frac{1}{n_{non}}} R_{pnp}^{\frac{1}{n_{np}}}} \right)^{\frac{n_{non} \cdot n_{np}}{n_{non} + n_{np}}}} + 2k(e) \frac{1 - \mu^2}{\pi E} c' \sigma_T \frac{t_m S_m}{100} \times \frac{P_t}{R_p c' \sigma_T \left( \frac{\pi_m S_m t_{mnp} S_{mnp}}{4 \cdot 10^4 R_p^{\frac{1}{n_{non}}} R_{pnp}^{\frac{1}{n_{np}}}} \right)^{\frac{n_{non} \cdot n_{np}}{n_{non} + n_{np}}}} \cdot \frac{1}{n_{non}}. \quad (8)$$

Задача о перемещении вершин выступов значительно усложняется при рассмотрении контакта между двумя выступами. Контакт двух выступов, различных по форме и по физико-механическим свойствам, приводит к внедрению одной неровности в другую, а следовательно, площадь фактического контакта будет определяться не площадью сечения каждого выступа на уровне его пластической деформации, а площадью сечения внедрившегося выступа на расстоянии величины сближения, определяемой его пластической деформацией  $y_{iпл}$ .

Как правило, все сопрягаемые цилиндрические зубчатые колеса работают при динамическом воздействии нагрузок, вызывающих увеличение их контактных деформаций, величина которых может быть

$$y_T = \frac{P + P_D}{2\pi RHB} \left( \frac{T}{T_{HB}} \right)^{m_1}, \tag{9}$$

где  $P$  – нормальная статическая нагрузка на контакт;  $P_D$  – динамическая нагрузка на контакт;  $T$  – текущее время с момента действия вибраций;  $T_{HB}$  – время испытания на твердость по Бринелю;

$$m_1 = m_c + k_D \left( \frac{P}{P_D} \right), \tag{10}$$

где  $m_c$  – реологическая константа, характеризующая статическую ползучесть контакта (временной показатель роста контактных деформаций при отсутствии вибраций);  $k_D$  – коэффициент, характеризующий динамическую ползучесть контакта. Их значения [1, 2] приведены в табл. 2.

Исходя из вышеизложенного, контактные перемещения сопрягаемых цилиндрических зубчатых колес при дополнительном воздействии на них динамической нагрузки могут быть рассчитаны

$$y_T = \left[ \frac{(P + P_D) R_p^v W_p^v W H_{p,M}^v}{10^3 c k_1' \sigma_{T_1} A t_m t_{mW} t_{mM}} \right]^{\frac{1}{v+v_W+v_M}} \left( \frac{T}{T_{HB}} \right)^{\frac{m_1}{v+v_W+v_M}} \tag{11}$$

или при  $t_m = 50\%$ ,  $t_{mW} = 50\%$ ,  $t_{mM} = 50\%$ ,  $c = 3$ ,  $v = v_M = v_W = 2$

$$y_T = \pi \left[ \frac{2\pi(P + P_D) R_a^2 W_z^2 H_{\max}^2}{A k_1' \sigma_T} \left( \frac{T}{T_{HB}} \right)^{m_1} \right]^{\frac{1}{6}}. \tag{12}$$

Таблица 2 – Реологические и динамические характеристики ползучести контакта сопрягаемых цилиндрических зубчатых колес

Материал	Характеристика контакта		
	Твердость $HB$ , МПа	$m_0$	$k_D$
Сталь 35	1020	0,0048	0,0127
Сталь 40	1640	0,0027	0,0156
Сталь 40ХН	1950	0,0032	0,0144

Экспериментальному исследованию контактной жесткости, методам ее измерения и оценке посвящено ряд работ [1, 3, 4, 5]. Зависимость контактных перемещений от отдельных нагрузок при различном состоянии контактирующих поверхностей носит параболический характер [1, 2], что утверждает достоверность приведенных теоретических уравнений (рис. 2 и рис. 3, таблицы 3, 4).

$$y = Cp^m, \tag{13}$$

где  $C$  и  $m$  – коэффициенты, характеризующие контактную жесткость сопрягаемых цилиндрических зубчатых колес.

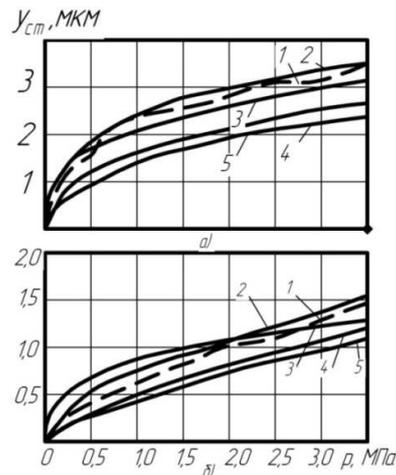


Рисунок 2 – Зависимость нормальных контактных перемещений от удельной нагрузки сопрягаемых цилиндрических зубчатых колес, нарезанных методом встречного зубофрезерования, из стали 45 ( $\sigma_t = 360$  МПа) при первом (а) и повторном (б) нагружениях: 1 – экспериментальная кривая; 2 – по данным работы [1]; 3 – по формуле (9); 4 – по данным работы [2]; 5 – по данным работы [4]

Значение этих коэффициентов позволяют рассчитать контактную жесткость контактирующих цилиндрических крупномодульных зубчатых колес [1, 2]:

$$j = \frac{1}{c} p^{1-m}. \quad (14)$$

Учитывая, что цилиндрические зубчатые колеса обычно работают при различных нагрузках, для оценки их контактной жесткости используют понятие средней контактной жесткости [1, 2]:

$$j_{cp} = \frac{1}{c} p_{cp}^{1-m}, \quad (15)$$

где  $p_{cp}$  – средняя удельная нагрузка на контактирующие поверхности.

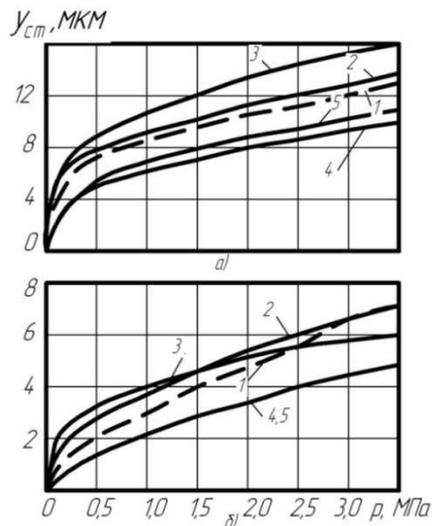


Рисунок 3 – Зависимость нормальных контактных перемещений от удельной нагрузки сопрягаемых цилиндрических зубчатых колес нарезанных методом скоростного зубофрезерования, из стали 45 ( $\sigma_t = 360$  МПа) при первом (а) и повторном (б) нагружениях: 1 – экспериментальная кривая; 2 – по данным работы [1]; 3 – по формуле (9); 4 – по данным работы [2]; 5 – по данным работы [4]

Схемы и размеры исследуемых цилиндрических зубчатых колес (образцов) для проведения испытаний на контактную жесткость выбирались из условий проведения эксперимента методом масштабирования.

Деформирование поверхностного слоя образцов осуществляется при помощи сопрягаемых шестерен, изготовленных из стали 45, 40X (табл. 4) и закаленных до твердости  $HRC52...58$ , с шероховатостью рабочей поверхности  $R_z = 0,05 - 0,10$  мкм по ГОСТ 2789 – 73.

Таблица 3 – Значение параметров поверхностного слоя исследуемых образцов

Метод обработки	Направление измерения параметров	Параметры шероховатости					Параметры волнистости					Параметры микроотклонений, мкм		Степень наклепа $k'_l = \frac{n_z}{H_{max}}$
		$R_a$ , мкм	$R_p$ , мкм	$R_{max}$ , мкм	$t_p$ , %	$S$ , мм	$W$ , мкм	$W_p$ , мкм	$W_r$ , мкм	$t_{mW}$ , %	$S_{mW}$ , мм	$H_p$	$H_p$	
Зубофрезерование	Поперечное	0,85	1,48	3,27	40	0,052	1,12	2,58	4,86	50	0,54	1,98	4,8	1,05
		0,12	0,23	0,46	50	0,026	0,96	3,42	5,12	50	0,73	5,9	14	
Скоростное зубофрезерование	Поперечное	0,28	0,42	0,96	50	0,022	0,14	0,35	0,48	45	0,38	1,5	2,3	1,0
	Продольное	0,12	0,26	0,52	55	0,048	0,19	0,46	0,76	40	0,82	1,5	2,6	

Таблица 4 – Результаты экспериментальной проверки контактного сближения при скольжении

Условия испытаний			Значение контактного сближения при скольжении			
Материал	$\rho$ , МПа	$v$ , м/с	Экспериментальное	Теоретическое без учета смазки	Теоретическое с учетом смазки	Теоретическое с учетом температуры смазки
45 – 40X	1,56	0,12	1,78	0,94	1,14	1,88
40X – 40XH	1,63	0,12	1,14	0,73	0,95	3,75
40X – 34XHM	1,59	0,23	3,95	0,88	1,95	1,23

Таким образом, результаты теоретических и экспериментальных исследований контактной жесткости контактирующих цилиндрических крупномодульных зубчатых колес показали, что контактная жесткость определяется геометрическими параметрами: макроотклонения  $H_{max}$ ,  $H_p$  волнистости  $W_r$ ,  $W_p$ ,  $S_{mW}$ ; шероховатости  $R_a$ ,  $R_p$ ,  $S_m$ ,  $t_p$ ; радиусом округления режущей кромки зубьев фрезы  $\rho$ ; степенью упрочнения  $k_i(H_{\mu 0})$ ; физико-механическими свойствами материалов контактирующих цилиндрических крупномодульных зубчатых колес  $E$ ,  $\mu$ ,  $\sigma_c$  и условиями их работы.

Основное влияние на контактную жесткость оказывают при первом нагружении:  $k_i(H_{\mu 0})$ ,  $H_p$ ,  $W_p$ ,  $R_p$ ,  $\rho$ ; при повторных нагрузках:  $H_p$ ,  $W_p$ ,  $R_p$ ,  $\rho$ . Такое влияние параметров поверхностного слоя зубчатых колес представляет широкие возможности для выбора и назначения окончательных технологических регламентов в повышении контактной жесткости цилиндрических закаленных крупномодульных зубчатых колес.

**Выводы**

1. Процесс пластических деформаций предложено применить к реальной поверхности зубчатого колеса, находящейся в контакте под действием нормальной нагрузки и величина ее пластических деформаций определяется формированием фактической площади контакта с учетом шероховатости, волнистости и макроотклонения.

2. Пластические деформации имеют место при первичном приложении нагрузки к контактирующим поверхностям.

3. Увеличение нагрузки при повторном ее приложении на несмещенные поверхности выше первоначальной вызывает переход деформации вершин микронеровностей от упругих к пластическим в диапазоне этого увеличения. Очевидно, что с увеличением нагрузки происходят структурные изменения, которые резко меняют структурно механические и физические свойства. Особенно сильно увеличивается предел текучести. Так, для конструкционной стали, деформированной до 70%,  $\sigma_{\phi}$  увеличивается в 2,2 раза, а для легированной стали – в 4,2 раза

4. С увеличением нагрузки происходят структурные изменения, которые резко меняют структурно механические и физические свойства поверхностного слоя закаленных зубчатых крупномодульных

колес. Для конструкционной стали, деформированной до 70%,  $u_{\phi}$ увеличивается в 2,2 раза, а для легированной стали – в 4,2 раза

5. Результаты теоретических и экспериментальных исследований контактной жесткости контактирующих цилиндрических крупномодульных зубчатых колес показали, что контактная жесткость определяется геометрическими параметрами: макроотклонения  $H_{\max}$ ,  $H_p$  волнистости  $W_z$ ,  $W_p$ ,  $S_{mw}$ ; шероховатости  $R_a$ ,  $R_p$ ,  $S_m$ ,  $t_p$ ; радиусом округления режущей кромки зубьев фрезы  $\rho$ ; степенью упрочнения  $k_i(H_{\mu 0})$ ; физико-механическими свойствами материалов контактирующих цилиндрических крупномодульных зубчатых колес  $E$ ,  $\mu$ ,  $\sigma_T$  и условиями их работы.

6. Основное влияние на контактную жесткость оказывают при первом нагружении:  $k_i(H_{\mu 0})$ ,  $H_p$ ,  $W_p$ ,  $R_p$ ,  $\rho$ ; при повторных нагрузках:  $H_p$ ,  $W_p$ ,  $R_p$ ,  $\rho$ .

#### **Библиографический список использованной литературы:**

1. Суслов, А. Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей / А. Г. Суслов. – М. : Машиностроение, 1987. – 208 с.
2. Специальные технологи зубообработки крупномодульных закаленных колес: монография / Ю. В. Тимофеев, В. Ф. Шаповалов, А. А. Клочко [и др.]. – Краматорск : ДГМА, 2011. – 128 с. ISBN 978-966-379-524-9.
3. Технология зубообработки крупногабаритных зубчатых венцов поверхностно-пластическим деформированием / Ю. В. Тимофеев, Е. В. Мироненко, А. А. Клочко, В. Ф. Шаповалов, В. И. Печеный // Надежность инструмента и оптимизация технологических систем : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2011. – Вып. 29. – С. 124–130
4. Технологические особенности обработки крупномодульных закаленных зубчатых колес [Текст] / Н.В. Кравцов, Ю.В. Тимофеев, А.А. Клочко [и др.]; науч. ред. А.А. Пермяков; ВолГТУ – Тольятти: ЗАО «ОНИКС», 2012 – 254 с., ил., табл.; - (Серия: Управление качеством технологических процессов в машиностроении / общ. ред. Ю.М. Соломенцев), ISBN 978-59903090-6-7.
5. Вибір і призначення систем параметрів поверхневого шару циліндричних великомодульних зубчастих коліс, що визначають їх експлуатаційні властивості / Е. В. Мироненко, О. М. Шелковий, О. О. Клочко, О. М. Кравцов // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». : зб. наук. пр. : Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. Львів. – 2013. – №772. – С. 207–213.

*Поступила в редакцию 28.01.2014 г.*

#### **Шелковий О.М., Міроненко Є.В., Клочко О.О. Аналіз технологічних методів, що забезпечують експлуатаційні властивості контактуючих поверхонь загартованих крупномодульних зубчастих коліс**

У статті розглянуті технологічні методи забезпечення продуктивності і якості зубообработки загартованих крупномодульних зубчастих коліс з урахуванням стану поверхневого шару, геометричних і фізико-механічних параметрів, технологічної "спадковості" на протяз усього технологічного циклу виготовлення коліс. Вершини виступів, що вступили в контакт, мають перехідний характер деформацій від пружних до пластичних. Процес пластичних деформацій розглядається стосовно реальної поверхні зубчастого колеса, нормального навантаження, що знаходиться в контакті під дією, величина її пластичних деформацій визначається формуванням фактичної площі контакту з урахуванням шорсткості, хвилястості і макровідхилення поверхневого шару загартованих зубчастих коліс.

**Ключові слова:** технологічні методи, продуктивність, точність, якість, зубообробка, загартовані колеса, шорсткість, хвилястість, макровідхилення, поверхневий шар.

#### **Shelkovoy A.N., Mironenko E.V., Klochko O.O. Analysis of technological methods, providing operating properties of contacting surfaces of hard-tempered large module gear-wheels**

In the article the technological methods of providing of the productivity and quality of gear treatment of hard-tempered large module gear-wheels are considered taking into account the state of superficial layer, geometrical and physical and mechanical parameters, to technological "heredity" on an extent all about cycle of making of wheels. The tops of ledges entering into a contact have transitional character of deformations from resilient to plastic. The process of flowages is examined as it applies to the real surface of gear-wheel, being in a contact under an action normal loading, the size of her flowages is determined by forming of actual area of contact taking into account a roughness, waviness and macrorejection of layer of hard-tempered toothed gear-wheels.

**Keywords:** technological methods, productivity, exactness, quality, treatment of teeth, hard-tempered wheels, roughness, waviness, macrorejection, layer.