

## **ЭФФЕКТ ВЛИЯНИЯ УПРОЧНЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ВАЛОВ ПЕРЕДАТОЧНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

**М.С. Гороян**

*Национальный политехнический университет Армении*

Рассмотрены вопросы повышения сопротивления усталости валов передаточных механизмов, применяемых в приводных схемах различного класса машин и технологического оборудования, рабочие поверхности которых подвергнуты поверхностному пластическому деформированию при их обкатке роликовым упрочняющим инструментом. Классифицированы результаты ранее выполненных исследований и на основе системного анализа выявлены многопараметрические функциональные связи между характеристиками сопротивления усталости валов и параметрами упрочняющей технологии, физико-механического состояния поверхности, а также геометрических размеров и форм валов. Получены регрессионные уравнения, моделирующие процессы упрочнения с комплексным учетом действующих факторов.

**Ключевые слова:** поверхностное пластическое деформирование, процесс упрочнения, упрочненный слой, параметры упрочнения, характеристики сопротивления усталости.

**Введение.** Тенденция роста выпуска машин различного назначения в первую очередь предполагает совершенствование и разработку новых технологических процессов, обеспечивающих повышение производительности, увеличение рабочих скоростей и грузоподъемности, а также удельной энерговооруженности указанных средств с одновременным снижением их материалоемкости с учетом постоянного роста себестоимости конструкционных материалов за последнее десятилетие. Одним из способов достижения этой цели является применение эффективных технологических процессов, повышающих несущую способность ответственных элементов конструкции машин. В машиностроительном производстве таковыми являются упрочняющие технологии, в частности – метод поверхностного пластического деформирования (ППД) рабочих поверхностей и отдельных участков деталей с концентраторами напряжений, наиболее подверженных разрушению из-за комплексного воздействия повреждающих явлений (усталость, старение, износ, коррозионная среда, резкое температурное воздействие и др.) [1-5].

За последние десятилетия в машиностроительных НИИ и исследовательских центрах РФ и стран - участниц СНГ выполнен огромный объем исследований по совершенствованию и разработке новых видов упрочняющих технологий с

применением различных физических методов воздействия на обрабатываемую поверхность (вибрационное, ультразвуковое, электромагнитное, лазерное и др.) [5-7]. Более подробно разработан метод ППД обкатывающими роликами и шариками [5], как наиболее эффективный и доступный способ повышения сопротивления усталости ответственных деталей. Отличительной особенностью этих исследований, как и ранее выполненных, является сравнительно узкая специализация выполненных работ для решения задач, вытекающих из реализации конкретных предложений, в основном, эксплуатационного характера, и отсутствие разработок по обобщению и оптимизации полученных данных.

**Методика исследования.** Для конкретного применения в расчетной практике и технологических процессах ранее полученных данных необходимо провести системный анализ и классификацию результатов, в первую очередь, с целью уточнения интервальных значений показателей исследуемых факторов, а также для выявления взаимосвязи и степени перекрытия этих интервалов с целью получения оптимального набора значений показателей и их применения в каждом конкретном случае выполнения упрочняющих операций. Рассмотрим основную группу указанных показателей.

В расчетах на прочность применяются коэффициенты, учитывающие влияние основных факторов на сопротивление усталости деталей и соединений машин [8]:

- масштабный коэффициент –

$$K_{d\sigma} = \bar{\sigma}_{Rd_{2l}} / \bar{\sigma}_{Rd_{0,2l}} \leq 1; \quad (1)$$

- эффективный коэффициент концентрации напряжений –

$$K_{\sigma} = \bar{\sigma}_{Rd_{2l}} / \bar{\sigma}_{Rdk} \geq 1; \quad (2)$$

- коэффициент состояния микроповерхности деталей –

$$K_{F\sigma} = \bar{\sigma}_{RFd} / \bar{\sigma}_{Rd} \leq 1; \quad (3)$$

- коэффициент упрочнения –

$$K_{v\sigma} = \bar{\sigma}_{Rvd} / \bar{\sigma}_{Rd} \geq 1, \quad (4)$$

которые при расчетах запасов прочности

$$n_{\sigma} = \bar{\sigma}_{Rd} / \sigma_p = \bar{\sigma}_{Rd} / (\sigma_a K_{\sigma D} + \psi_{\sigma} \sigma_m) \geq [n] \quad (5)$$

в первом приближении объединены в суммарный коэффициент влияния факторов –

$$K_{\sigma D} = K_{\sigma} / (K_{d\sigma} \cdot K_{F\sigma} \cdot K_{v\sigma}). \quad (6)$$

В структурах коэффициентов (1)-(4), (6) введены длительные пределы выносливости:  $\bar{\sigma}_{Rd_{гл}}$ ,  $\bar{\sigma}_{Rd_{0,гл}}$  – для гладких деталей с диаметром  $d$  и  $d_0 = 7,5 \dots 10$  мм;  $\bar{\sigma}_{Rdk}$  – для деталей с концентраторами напряжений;  $\bar{\sigma}_{Rd}$ ,  $\bar{\sigma}_{RFd}$  – для деталей с исходным (полированным) и заданным состояниями рабочих поверхностей;  $\bar{\sigma}_{Rvd}$  – с применением упрочняющих технологий.

В (6):  $\sigma_p$ ,  $\sigma_a$ ,  $\sigma_m$  – соответственно рабочее, переменное и среднее напряжения циклов.

**Экспериментальные данные.** Целью данной работы является выявление суммарного воздействия эффекта упрочнения на показатели геометрических размеров, форм, поверхностных неровностей и в итоге – длительных пределов выносливости валов и осей для определения оптимальных режимов упрочнения при заданных значениях коэффициентов (1)-(4), (6). В качестве исходных данных выбраны и классифицированы результаты испытаний на усталость (переменный изгиб с вращением) значительного объема исследований ([1-7], 665 серий испытаний), проведенных в разные годы. Принят наиболее распространенный вид ППД – обкатка роликом и шариком рабочих поверхностей валов из стали 40X в нормализованном состоянии ( $\sigma_B = 850 \dots 880$  МПа,  $\sigma_T = 450 \dots 470$  МПа,  $HB = 215 \dots 250$ ), подвергнутых шлифованию ( $R_a = 1,25$  мкм,  $K_{F\sigma} = 0,96 \dots 0,98$ ). Медианные значения длительных пределов выносливости сгруппированы по диаметру валов ( $d = 7,5 \dots 20,0$  мм), глубине упрочненного слоя ( $\Delta h = 0 \dots 0,15$  мм), степени концентрации напряжений ( $\alpha_{\sigma 1} = 1,0 \dots 1,05$ ;  $\alpha_{\sigma 2} = 1,06 \dots 1,50$ ;  $\alpha_{\sigma 3} = 1,51 \dots 2,00$ ;  $\alpha_{\sigma 4} = 2,01 \dots 3,50$ ).

Число действующих факторов на несущую способность деталей значительно, и варианты их сочетаний весьма разнообразны с присущими им градиентами воздействия на конечный результат, что продиктовано конструктивными, технологическими особенностями и условиями работы деталей. Поэтому при классификации и группировке факторов для конкретного случая их сочетания необходим выбор основного из них, оказывающего преобладающее влияние на остальные факторы, а следовательно, и на показатели работоспособности деталей.

В общем виде указанную взаимосвязь между показателями факторов можно представить как многопараметрическую функцию

$$\Phi(\Delta h, d, \alpha_{\sigma}, K_{d\sigma}, K_{\sigma}, K_{v\sigma}, K_{\sigma D}, \bar{\sigma}_R) = 0, \quad (7)$$

которая в практических расчетах используется в виде системы параметрических уравнений регрессии. Если (7) представить как систему из двух-, трех- и четырехмерных параметрических уравнений, соответственно получим 33, 56 и 70 вариантов сочетаний функций внутри указанных систем. В этом случае возникает необходимость выбора одной из указанных систем, а также определенного варианта сочетаний функций из выбранной системы, максимально соответствующего решению поставленной задачи.

**Результаты исследования.** На данном этапе исследования эффекта поверхностного упрочнения будут рассмотрены функции основных показателей – коэффициентов  $K_{d\sigma}, K_{\sigma}, K_{v\sigma}, K_{\sigma D}$ , а также длительных пределов выносливости  $\bar{\sigma}_R$  (последние фактически являются обобщенными функциями от действия рассмотренных факторов). Аргументом этих функций выбран диаметр валов  $d$ , а параметрами функций -  $\Delta h$  и  $\alpha_{\sigma}$ , обеспечивающие необходимую информативность

указанных функций и идентичность их графиков от геометрических размеров и форм валов. Это позволяет выбрать систему четырехпараметрических уравнений со следующим вариантом сочетания функций:

$$\begin{aligned} K_{d\sigma} &= \varphi_1(d, \Delta h, \alpha_\sigma), & K_{\sigma D} &= \varphi_4(d, \Delta h, \alpha_\sigma), \\ K_\sigma &= \varphi_2(d, \Delta h, \alpha_\sigma), & \bar{\sigma}_R &= \varphi_5(d, \Delta h, \alpha_\sigma). \end{aligned} \quad (8)$$

$$K_{v\sigma} = \varphi_3(d, \Delta h, \alpha_\sigma),$$

Медианные значения  $\bar{\sigma}_R$  рассчитаны по результатам 10...12 серий испытаний на усталость валов, и по ним определены коэффициенты  $K_{d\sigma}, K_\sigma, K_{v\sigma}, K_{\sigma D}$  согласно (1)-(4), (6), которые сгруппированы по аргументу  $d$  и параметрам  $\Delta h, \alpha_\sigma$ . Для расчетно-графической оценки указанных коэффициентов и  $\bar{\sigma}_R$ , используя стандартные компьютерные программы, получены уравнения регрессии 1...3 порядков для функций (8) и выбраны те варианты, которые обеспечивают значения коэффициента детерминации  $R^2 > 0,9$  [9]. Для примера в таблице представлена группа уравнений регрессии для функции  $\bar{\sigma}_R = \varphi_5(d, \Delta h, \alpha_\sigma)$ .

Таблица

Уравнения регрессии функции  $\bar{\sigma}_R = \varphi_5(d, \Delta h, \alpha_\sigma)$

N	$\alpha_{\sigma i}$	$\Delta h, \text{мм}$	Уравн. регрессии $\bar{\sigma}_R = \varphi(d)$ при $\Delta h = 0 \dots 0,15 \text{ мм}$ и $\alpha_{\sigma 1}, \dots, \alpha_{\sigma 4}$	$R^2$
1	$\alpha_{\sigma 1}$ (гл.)	0	$\bar{\sigma}_R = 0,459x^2 - 19,06x + 560,2$	0,994
2		0,05	$\bar{\sigma}_R = 0,350x^2 - 14,56x + 539,2$	0,999
3		0,10	$\bar{\sigma}_R = 0,358x^2 - 14,27x + 558,7$	0,985
4		0,15	$\bar{\sigma}_R = 0,448x^2 - 16,03x + 602,4$	0,971
5	$\alpha_{\sigma 2}$	0	$\bar{\sigma}_R = 0,322x^2 - 11,92x + 375,8$	0,998
6		0,05	$\bar{\sigma}_R = 0,06x^2 - 2,966x + 380,4$	0,993
7		0,10	$\bar{\sigma}_R = 0,086x^2 - 3,277x + 385,8$	0,998
8		0,15	$\bar{\sigma}_R = 0,083x^2 - 3,489x + 401,8$	0,980
9	$\alpha_{\sigma 3}$	0	$\bar{\sigma}_R = 0,264x^2 - 10,65x + 329,2$	0,997
10		0,05	$\bar{\sigma}_R = 0,087x^2 - 3,841x + 357,8$	0,999
11		0,10	$\bar{\sigma}_R = 0,243x^2 - 8,689x + 405,8$	0,993
12		0,15	$\bar{\sigma}_R = 0,207x^2 - 7,373x + 418,6$	0,982
13	$\alpha_{\sigma 4}$	0	$\bar{\sigma}_R = 0,191x^2 - 7,528x + 219,1$	0,996
14		0,05	$\bar{\sigma}_R = 0,188x^2 - 7,438x + 285,3$	0,999
15		0,10	$\bar{\sigma}_R = 0,185x^2 - 7,013x + 296,2$	0,986
16		0,15	$\bar{\sigma}_R = 0,247x^2 - 8,143x + 324,6$	0,938

Рассмотрим действие основных факторов [10,11].

1. Влияние геометрических размеров. Как принято для функций  $K_{d\sigma} = \varphi_1(d, \Delta h, \alpha_\sigma)$ , с увеличением диаметра деталей характер кривых

ниспадающий с дальнейшим уменьшением их градиента [8], которое наблюдается для всех групп функций (рис. 1). Это изменение более четко проявляется для исходной группы (гладкие валы,  $\alpha_{\sigma 1} \approx 1$ ), значения  $K_{d\sigma}$  при этом наименьшие (при  $d = 20 \text{ мм}$  –  $K_{d\sigma} \approx 0,8$ ). Для неупрочненных валов при наличии концентрации напряжений ( $\alpha_{\sigma} = 1,06 \dots 3,50$ ) и  $d = 20 \text{ мм}$  эти значения меняются в интервале  $K_{d\sigma} = 0,83 \dots 0,87$ . Применение упрочняющей технологии ( $\Delta h = 0,05 \dots 0,15 \text{ мм}$ ,  $d = 20 \text{ мм}$ ) приводит к увеличению  $K_{d\sigma}$  в пределах: для  $\alpha_{\sigma 1}$  –  $K_{d\sigma} = 0,80 \dots 0,90$ , а для  $\alpha_{\sigma 2}, \alpha_{\sigma 3}, \alpha_{\sigma 4}$  –  $K_{d\sigma} = 0,87 \dots 0,97$ ;  $0,84 \dots 0,94$ ;  $0,83 \dots 0,93$ . При этом значения  $K_{d\sigma \max}$  соответствуют валам с умеренной концентрацией напряжений ( $\alpha_{\sigma 2}$ ).

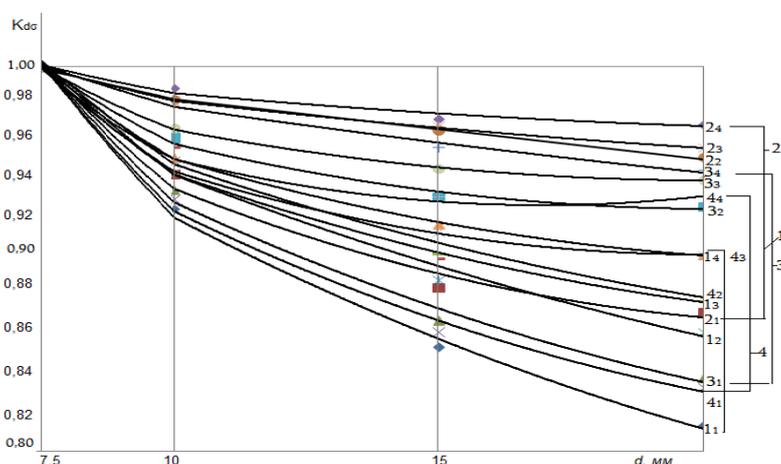


Рис. 1. Изменение функции  $K_{d\sigma} = \varphi_1(d, \Delta h, \alpha_{\sigma})$ . Обозначения кривых: 1<sub>1</sub>, ..., 1<sub>4</sub> - гладкие валы; 2<sub>1</sub>, ..., 2<sub>4</sub>, 3<sub>1</sub> ... 3<sub>4</sub>, 4<sub>1</sub>, ... 4<sub>4</sub> - валы с  $\alpha_{\sigma 2}, \alpha_{\sigma 3}, \alpha_{\sigma 4}$ . Индексы 1, ..., 4 соответствуют глубине упрочненного слоя  $\Delta h = 0, 0,05, 0,1$  и  $0,15 \text{ мм}$

Анализ кривых (рис. 1) подтверждает тезис о положительном влиянии на несущую способность валов эффекта упрочнения, одновременно подавляющего два основных фактора (действия размеров и концентрации напряжений), в результате чего значения  $K_{d\sigma}$  доходят до 1,00. Другими особенностями рассмотренных функций являются:

а) уменьшение градиента функций  $K_{d\sigma} = \varphi_1(d, \Delta h, \alpha_{\sigma})$  при усилении степени упрочнения ( $\Delta h = 0,15 \text{ мм}$ ), приводящее к стабилизации значений  $K_{d\sigma}$  особенно при высокой концентрации напряжений ( $\alpha_{\sigma 4}$ );

б) кривые  $K_{d\sigma}$  для гладких валов при  $\Delta h = 0,05 \dots 0,15 \text{ мм}$  относительно равноудаленные, но с увеличением концентрации напряжений они группируются в сравнительно узком интервале значений  $K_{d\sigma}$ , что также указывает на усиление эффекта упрочнения при повышенных значениях  $\alpha_{\sigma i}$ .

2. *Влияние концентрации напряжений.* Влияние диаметра валов  $d$  при общем ниспадающем характере кривых  $K_\sigma = \varphi_2(d, \Delta h, \alpha_\sigma)$  незначительное, и основную роль играют глубина упрочненного поверхностного слоя  $\Delta h$  и степень концентрации напряжений ( $\alpha_{\sigma 1} \rightarrow \alpha_{\sigma 4}$ ) (рис. 2). С увеличением  $\alpha_{\sigma i} = 1,06 \dots 3,50$  и  $\Delta h = 0,05 \dots 0,15$  мм при  $d = 20$  мм изменение значений  $K_\sigma$  происходит в интервалах  $K_\sigma = 1,12 \dots 1,36; 1,23 \dots 1,64; 1,77 \dots 2,52$ , т.е. упрочнение поверхности снижает эффект концентрации напряжений соответственно на 21,4; 33,3 и 41,2%. Таким образом, с усилением концентрации напряжений положительное влияние упрочнения увеличивается, а при умеренной концентрации напряжений характеристики сопротивления усталости приближаются к аналогичным данным для гладких валов, т.е. эффект упрочнения из-за наличия остаточных напряжений сжатия по контурам концентраторов напряжений почти полностью снимает их отрицательное влияние.

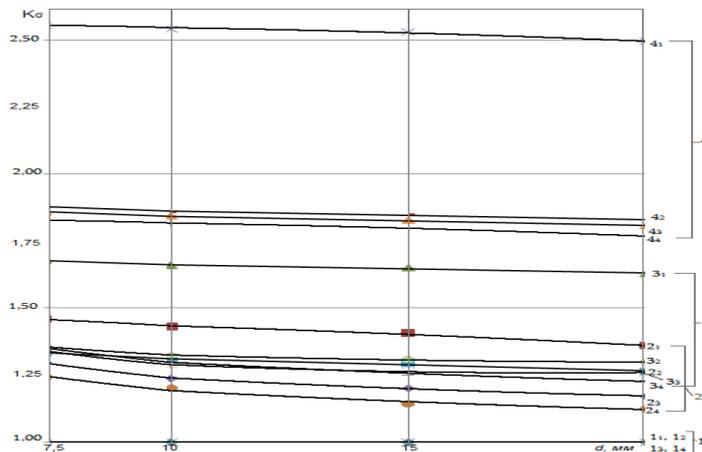


Рис. 2. Изменение функции  $K_\sigma = \varphi_2(d, \Delta h, \alpha_\sigma)$ . Обозначения аналогичны рис. 1

Группировка функций  $K_\sigma = \varphi_2(d, \Delta h, \alpha_\sigma)$  при  $\Delta h = 0,05 \dots 0,15$  мм проявляется в более четкой форме, чем в предыдущем случае (рис. 2).

3. *Влияние коэффициента упрочнения.* Функции  $K_{v\sigma} = \varphi_3(d, \Delta h, \alpha_\sigma)$  в интервале  $\Delta h = 0,05 \dots 0,15$  мм имеют монотонно восходящий характер, и при увеличении диаметров  $d$  и степени концентраторов напряжений  $\alpha_\sigma$  значения  $K_{v\sigma}$  возрастают, указывая на положительный эффект упрочнения (рис. 3). Если для гладких валов при  $d = 20$  мм и  $\Delta h = 0,15$  мм эти значения достигают  $K_{v\sigma} = 1,28$ , то при  $\alpha_{\sigma 2}, \alpha_{\sigma 3}$  и  $\alpha_{\sigma 4}$  —  $K_{v\sigma} = 1,37, 1,59$  и  $1,79$ , что является значительным результатом. Экстраполяция функций  $K_{v\sigma} = \varphi_3(d, \Delta h, \alpha_\sigma)$  в зоны высоких значений параметров  $d, \Delta h$  и  $\alpha_{\sigma i}$  может привести к состоянию, когда  $K_{v\sigma} \approx K_\sigma$ , т.е. эффект упрочнения при оптимальных значениях этих параметров полностью компенсирует

влияние геометрических параметров и концентрации напряжений. Здесь также наблюдается аналогичная группировка рассмотренных функций.

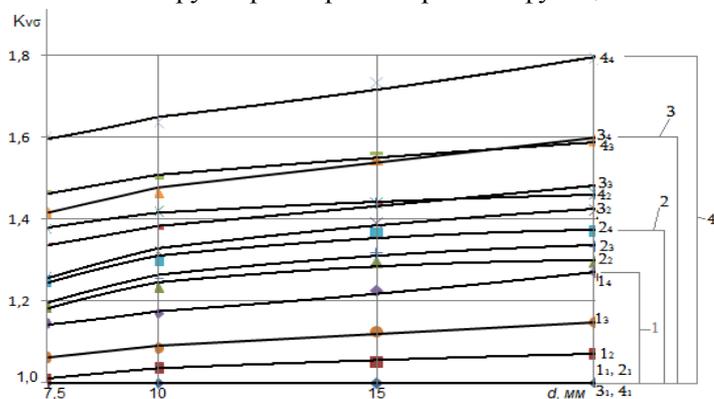


Рис. 3. Изменение функции  $K_{v\sigma} = \varphi_3(d, \Delta h, \alpha_\sigma)$ . Обозначения аналогичны рис. 1

4. Влияние суммарного коэффициента влияния факторов. Значения  $K_{\sigma D}$  как сумма воздействия всего комплекса коэффициентов (1)-(4), в основном, формируются величинами  $K_\sigma$ ,  $K_{v\sigma}$  и градиентами их функций. При этом преобладающее влияние оказывает  $K_\sigma$ , т.к. коэффициенты  $K_{d\sigma}$  и  $K_{F\sigma}$  меняются в сравнительно узких интервалах значений. Влияние коэффициента  $K_{v\sigma}$  проявляется в градиенте функции  $K_{\sigma D} = \varphi_4(d, \Delta h, \alpha_\sigma)$ , а также в группировке этих функций при высоких значениях  $\alpha_{\sigma i}$  (рис. 4), диктующих идентичный характер изменения кривых на рис. 3 и 4. Аналогичным образом при  $d = 20$  мм,  $\Delta h = 0 \dots 0,15$  мм и  $\alpha_{\sigma i} = 1,0 \dots 3,5$  значения  $K_{\sigma D}$  меняются в интервалах  $K_{\sigma D} = 0,92 \dots 1,21$ ;  $1,23 \dots 1,68$ ;  $1,27 \dots 2,80$  и  $1,82 \dots 3,03$ , что эффективно повышает значения  $n_\sigma$  согласно (5).

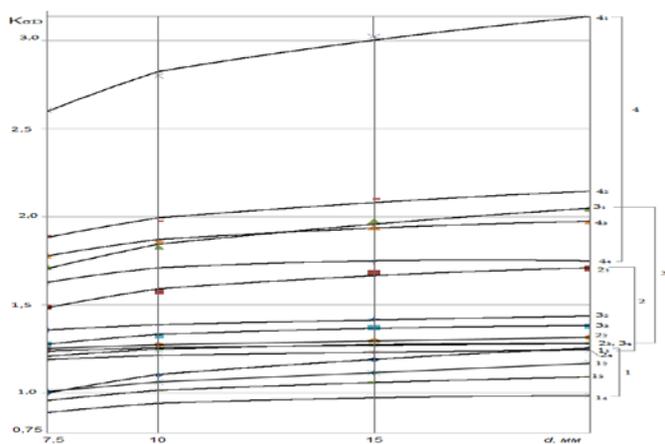


Рис. 4. Изменение функции  $K_{\sigma D} = \varphi_4(d, \Delta h, \alpha_\sigma)$ . Обозначения аналогичны рис. 1

5. Влияние медианных длительных пределов выносливости. Величина  $\bar{\sigma}_R$  является интегральной характеристикой сопротивления усталости, учитывающей комплексное влияние указанных факторов, оцениваемых коэффициентами (1)-(4), (6). Естественно, при усилении степени концентрации напряжений кривые функции  $\bar{\sigma}_R = \varphi_5(d, \Delta h, \alpha_\sigma)$  перемещаются вниз, но их градиент по мере увеличения глубины упрочненного слоя  $\Delta h$  уменьшается, и функции располагаются почти параллельно к оси  $d$  (рис. 5). Это особенно проявляется при сравнении кривых гладких валов и при  $\alpha_{\sigma 4} = 2,01 \dots 3,50$ . Другой отличительной особенностью является сравнительно плотное распределение кривых при увеличении значений  $\alpha_{\sigma i}$ , т.е. эффект упрочнения комплексно воздействует как на геометрические параметры, так и на формы валов, повышающие значения  $\bar{\sigma}_{Ri}$  при  $\Delta h \geq 0,15$  мм, а следовательно, и  $n_\sigma$  из (5).

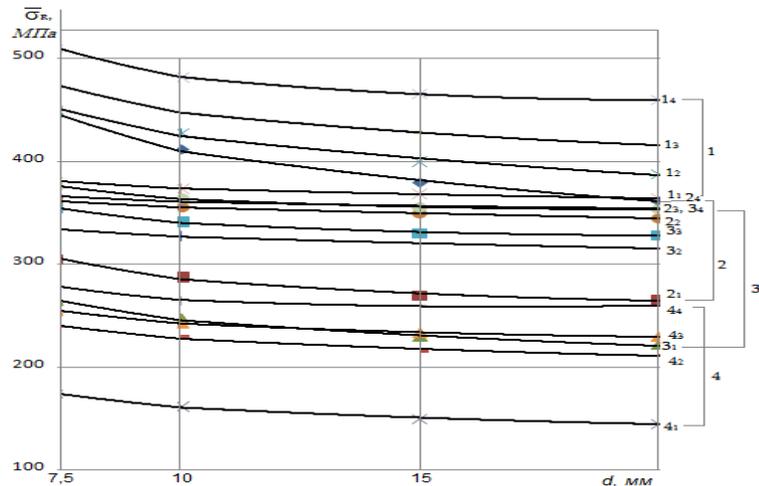


Рис. 5. Изменение функции  $\bar{\sigma}_R = \varphi_5(d, \Delta h, \alpha_\sigma)$ . Обозначения аналогичны рис. 1

**Заключение.** На основе анализа результатов ранее выполненных испытаний на усталость валов установлено комплексное влияние основных факторов, действующих на усталостную прочность, и выдвинуты рекомендации по повышению их несущей способности с применением метода ППД. При этом изучено влияние каждого отдельно взятого фактора и установлены границы их взаимодействия, при которых они достигают максимального эффекта. Предложены рекомендации по повышению усталостной прочности валов с применением оптимальных режимов упрочнения их рабочих поверхностей.

## Литература

1. **Олейник Н.В.** Несущая способность элементов конструкций при циклическом нагружении. - Киев: Наукова думка, 1985. – 240 с.
2. **Балгер М.А.** Упрочнение деталей машин. – М.: Машиностроение, 1987. – 206 с.
3. **Кудрявцев И.В., Шоков Н.А.** Влияние поверхностного пластического деформирования на зарождение трещин усталости в роторной стали // Проблемы прочности. – 1988. – № 4. – С. 15-19.
4. **Папшев Д.Д.** Технологические основы повышения надежности и долговечности деталей машин поверхностным упрочнением. – Самара: Изд-во Самарского гос. техн. ун-та, 1993. - 74 с.
5. **Дащенко А.Ф., Кравчук В.С., Иоргачев В.Д.** Несущая способность упрочнения деталей машин. – Одесса: Астропринт, 2004. – 160 с.
6. **Кирпичёв В.А.** Прогнозирование предела выносливости поверхностно упрочнённых деталей с концентраторами при различных видах деформации // Изв. вузов. Поволжский регион. Техн. науки. - 2008. - № 3 (7). - С. 138-142.
7. **Губанов В.Ф.** Инновационная технология отделочно-упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2011. – № 4. – С.16-18.
8. **Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П.** Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность: Справочник. – М.: Машиностроение, 1987. – 224 с.
9. **Плешаков В.В., Схиртладзе А.Г.** Регрессионное моделирование и оптимизация технологических объектов. – М.: МГТУ Станкин, 2004. – 129 с.
10. **Стакян М.Г., Систани Ш.Дж., Торосян М.С.** Оценка прочности и долговечности деталей машин при поверхностном пластическом деформировании // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. – 2013. – Т. 66, № 2. – С. 95-102.
11. **Торосян М.С.** Повышение сопротивления усталости деталей, подвергнутых поверхностному пластическому деформированию // Сб.: Логистика, транспорт, природообустройство. – 2014. – С. 141-147.

*Поступила в редакцию 09.02.2016.  
Принята к опубликованию 13.05.2016.*

**ԱՄՐԱՑՆՈՂ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆՔԸ ՓՈԽԱՆՑԻՉ  
ՄԵԽԱՆԻԶՄՆԵՐԻ ԼԻՍԵՌՆԵՐԻ ԿՐՈՂՈՒՆԱԿՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ**

**Մ.Ս. Թորոսյան**

Դիտարկվում են տարբեր դասերի մեքենաների և տեխնոլոգիական սարքավորումների շարժաբերային սխեմաներում կիրառվող փոխանցիչ մեխանիզմների լիսեռների հոգնածային դիմադրության բարձրացման հարցերը, որոնց աշխատանքային մակերևույթները շրջագլորման հոլովակային ամրացնող գործիքով ենթարկված են մակերևութային պլաստիկ դեֆորմացման: Դասակարգված են նախկինում կատարված հետազոտությունների արդյունքները, և համակարգային վերլուծության հիմքով բացահայտված են բազմապարամետրական ֆունկցիոնալ կապեր լիսեռների հոգնածային դիմադրության բնութագրերի և ամրացնող տեխնոլոգիայի, մակերևույթների ֆիզիկամեխանիկական վիճակի պարամետրերի, ինչպես նաև լիսեռների երկրաչափական ձևերի և չափերի միջև: Ստացվել են ռեգրեսիայի հավասարումներ, որոնք մոդելավորում են ամրացման գործընթացները՝ ազդող գործոնների համալիր հաշվառմամբ :

**Առանցքային բառեր.** մակերևութային պլաստիկ դեֆորմացում, ամրացման գործընթաց, ամրացված շերտ, ամրացման պարամետրեր, հոգնածային դիմադրության բնութագրեր:

**THE EFFECT OF THE HARDENING TECHNOLOGY IMPACT ON THE BEARING  
CAPACITY OF SHAFTS OF TRANSMISSION MECHANISMS**

**M.S. Torosyan**

Issues on improving the fatigue resistance of the shafts of transmission mechanisms used in drive schemes of various class machines and technological equipment whose working surfaces are exposed to surface plastic deformation (SPD) at their running by a roller hardening tool are considered. The results of previously conducted researches are classified, and on the basis of the system analysis multiparametric functional relations between the shafts' fatigue resistance characteristics and the parameters of hardening technology, the surface physical-mechanical condition, as well as the geometric dimensions and the shaft shapes are revealed. Regression equations, the modeling hardening processes, considering the acting factors are obtained.

**Keywords:** surface plastic deformation, hardening process, hardened layer, hardening parameters, characteristics of fatigue resistance.