

## ОБЛАДНАННЯ ТА РЕМОНТИ

УДК 621.771.237:621.78

© Ищенко А.А.<sup>1</sup>, Ширяев А.В.<sup>2</sup>, Ширяев И.А.<sup>3</sup>, Улаева Т.А.<sup>4</sup>

### РАЗРАБОТКА ПАРАМЕТРОВ УПРОЧНЕНИЯ ЗАКАЛЁННОЙ ВАЛКОВОЙ СТАЛИ ПОВЕРХНОСТНО-ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ

Выполнен краткий анализ известных методик выбора технологических параметров упрочнения деталей поверхностно-пластической деформацией. Показано, что предлагаемые авторами методики имеют ограничения и носят общий характер без их точного расчета. Большинство исследователей решают задачи по повышению усталостной прочности, износостойкости, качества поверхности деталей, и разработанные методики направлены на улучшение свойств только поверхностных слоёв. На основе проведенного анализа, теоретических и экспериментальных исследований сопротивления контактной усталости разработаны основные положения технологии упрочняющей обкатки шариком закаленной валковой стали.

**Ключевые слова:** контакт, напряжения, контактно-усталостная прочность, поверхностно-пластическая деформация, стали для изготовления валков.

*Ищенко А.О., Ширяев О.В., Ширяев И.О., Улаева Т.О. Розробка параметрів зміцнення загартованої валкової сталі поверхнево-пластичною деформацією. Виконаний короткий аналіз відомих методик вибору технологічних параметрів зміцнення деталей поверхнево-пластичною деформацією. Показано, що пропонувані авторами методики мають обмеження і носять загальний характер без їх точного розрахунку. Більшість дослідників вирішують завдання по підвищенню втомної міцності, зносостійкості, якості поверхні деталей, і розроблені методики направлені на поліпшення властивостей лише поверхневих шарів. На основі проведеного аналізу, теоретичних і експериментальних досліджень опору контактній втомі розроблені основні положення технології зміцнюючої обкатки кулькою загартованої валкової сталі.*

**Ключові слова:** контакт, напруга, контактно-втомна міцність, поверхнево-пластична деформація, стали для виготовлення валків.

*A.O. Ischenko, O.V. Shiryayev, I.O. Shiryayev, T.O. Ulaeva. Development of hardening parameters of hard-tempered rolling steel by surface-plastic deformation. A short analysis of the known methods of choice of technological hardening parameters of machine-parts by surface-plastic deformation has been made. There are some limitations in the methods offered by the authors and these methods are general in essence. Such parameters, as the force of pressing the tool and the feed have not been calculated. Most researchers solve the tasks of the fatigue strength increase, wear-resistance, machine parts surface quality. The developed methods are directed towards the improvement of superficial layers properties. Contact-fatigue damages of machine parts develop not only on the surface but under it as well. Some authors assert that surface-plastic deformation reduces the resistances of the contact fatigue. On the basis of the results analysis, theo-*

<sup>1</sup> д-р техн. наук, професор, ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Мариуполь, [diamantik49@mail.ru](mailto:diamantik49@mail.ru)

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Мариуполь, [shiryayev.alexan@mail.ru](mailto:shiryayev.alexan@mail.ru)

<sup>3</sup> аспірант, ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Мариуполь

<sup>4</sup> магістр, ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Мариуполь, [shiryayev.iva@mail.ru](mailto:shiryayev.iva@mail.ru)

*retical researches of the strained state of contacting cylindrical parts and experimental researches of the samples, the main provisions of hardening by a hardened-steel ball rolling that is used for making braces of supporting rolls of the mills for rolling plates have been worked out. The relations for the calculation of technological hardening parameters are given. The developed technology of surface hardening of tempered high-carbon steel has been tested experimentally for the contact fatigue. The samples which were hardened by a hardened-steel ball rolling with the calculated pressing force were of higher durability as compared to the control samples without hardening.*

**Keywords:** *a contact, tensions, durability, surface-plastic deformation, braces of supporting rolls.*

**Постановка проблеми.** Упрочнение поверхностных слоёв прокатных валков остаётся одной из главных задач повышения надёжности работы прокатного оборудования. Особую актуальность оно приобрело в связи с усилиями по снижению себестоимости проката, которые могут обеспечить его конкурентоспособность на мировом рынке. Поэтому повышение сопротивления контактной усталости методом поверхностно-пластического деформирования высокоуглеродистых закалённых сталей является важной научной проблемой.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Поверхностно-пластическое деформирование (ППД) довольно широко применяется для упрочнения деталей наряду с другими известными способами упрочнения [1-4].

В указанных работах и в целом ряде других работ приведены подробные рекомендации по выбору режимов обкатки шариком для различных марок стали разной твердости и микроструктуры. Несмотря на обилие рекомендаций по режимам ППД, все они носят общий характер и, как правило, не дают точного расчета таких параметров, как сила прижатия инструмента, величина подачи и т.д. И, к сожалению, в исследованиях не хватает единого подхода к выбору параметров технологического процесса обкатки.

Большинство исследований, выполненных до настоящего времени, решают задачи по повышению усталостной прочности, износостойкости, качества поверхности деталей, т.е. они направлены на улучшение свойств поверхностных слоёв. Кроме того, в вопросе повышения сопротивления контактной усталости, связанной с повреждаемостью и более глубоких слоёв материала, не существует единого мнения о влиянии ППД на питтингообразование.

Обобщая результаты анализа работ, посвященных упрочнению деталей ППД, можно сделать следующие выводы. Повышение долговечности поверхностно-пластическим упрочнением путём обкатки шариками и роликами является наиболее простым и эффективным способом. Однако влияние упрочнения поверхности методами поверхностно-пластической деформации на закалённые стали изучено недостаточно. Приведенные в работах различных авторов данные не позволяют связать долговечность валков прокатных с нагрузками. Всесторонняя оценка прочности материала валков возможна только на основе экспериментальной кривой контактной усталости для конкретной валковой стали. Известные технологии поверхностно-пластического упрочнения являются, в большинстве своём, эмпирическими и предназначены для конкретных деталей и узлов. Поэтому важной задачей является необходимость разработки технологии обкатки закалённых сталей, основанной на определении глубины повреждаемости деталей при циклической обкатке.

**Цель статьи** – разработка методики и технологических параметров упрочнения поверхностно-пластическим деформированием закалённых высокоуглеродистых сталей.

**Изложение основного материала.** В процессе проведения теоретических и экспериментальных исследований влияния поверхностно-пластического деформирования на сопротивление контактной усталости (с.к.у.) стали 90ХФ в лаборатории кафедры МОЗЧМ были разработаны параметры технологического процесса упрочнения цилиндрических образцов диаметром 34 мм. Методика основана на теоретическом определении требуемой глубины упрочнения и расчёте параметров упрочнения, что отличается от известных подходов, характеризующихся экспериментальным подбором параметров упрочнения для конкретных деталей.

**Определение требуемой глубины упрочнения.** Для определения требуемой глубины проникновения пластической деформации для повышения с.к.у. необходимо, прежде всего, выполнение расчета компонентов напряженного состояния, глубины залегания максимума крити-

ческого напряжения. Расчёты выполняются в зависимости от формы контактирующих поверхностей по известным формулам контактных задач теории упругости. Для частного случая определения компонентов напряженного состояния при контактировании цилиндрических образцов с контрдисками этот расчёт выполнялся на основании формул Саверина М.М. [5] при помощи разработанной программы [6].

Максимальное контактное напряжение в центре площадки контакта:

$$\sigma_{z\max} = 0.418 \sqrt{\frac{2P}{l} \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2} \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}}, \quad (1)$$

где  $P$  – сила давления в контакте, МН;  $l$  – длина контакта, м;  $E_1$  и  $E_2$  – модули упругости двух соприкасающихся тел, МПа.

Компоненты напряженного состояния в общем виде:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= 2\mu\sigma_{z\max}e^{-\alpha}(v \cos \beta - \sin \beta) \\ \sigma_y &= \sigma_{z\max} \left[ v(2e^{-\alpha} \cos \beta - \sin \beta \operatorname{sh}(\alpha) \frac{\sin(2\beta)}{\operatorname{ch}(2\alpha) - \cos(2\beta)}) - e^{-\alpha} \sin \beta + \sin \beta \operatorname{sh}(\alpha) \left(1 - \frac{\operatorname{sh}(2\alpha)}{\operatorname{ch}(2\alpha) - \cos(2\beta)}\right) \right] \\ \sigma_z &= \sigma_{z\max} \left[ v \operatorname{sh}(\alpha) \sin \beta \frac{\sin(2\beta)}{\operatorname{ch}(2\alpha) - \cos(2\beta)} - e^{-\alpha} \sin \beta - \sin \beta \operatorname{sh}(\alpha) \left(1 - \frac{\operatorname{sh}(2\alpha)}{\operatorname{ch}(2\alpha) - \cos(2\beta)}\right) \right] \\ \tau_{xy} &= \sigma_{z\max} \left\{ v \left[ e^{-\alpha} \sin \beta - \sin \beta \operatorname{sh}(\alpha) \left(1 - \frac{\operatorname{sh}(2\alpha)}{\operatorname{ch}(2\alpha) - \cos(2\beta)}\right) \right] - \operatorname{sh}(\alpha) \sin \beta \frac{\sin(2\beta)}{\operatorname{ch}(2\alpha) - \cos(2\beta)} \right\} \\ \tau_{xy} &= 0; \tau_{xz} = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

где  $v$  и  $\gamma$  – коэффициенты тангенциальной и осевой нагрузок.

Эллиптические координаты связаны с прямоугольными зависимостями:

$$\begin{aligned} z &= b \cdot \operatorname{sh}(\alpha) \cdot \sin(\beta) \\ y &= b \cdot \operatorname{ch}(\alpha) \cdot \cos(\beta) \end{aligned} \quad (3)$$

По результатам расчёта были построены графики изменения и определена глубина залегания максимума  $h_\tau$  касательного напряжения  $\tau_{xy}$ , ответственного за возникновение подповерхностных повреждений [7, 8], которая определяет требуемую глубину наклёпа.

Необходимый для расчёта коэффициент касательных напряжений  $v$  на площадке контакта определён по зависимости, приведенной в работе [9]. В случае чистого качения двух цилиндрических тел в диапазоне исследованных давлений (700-4000 МПа) коэффициент касательных напряжений уменьшается с увеличением твердости и описывается уравнением

$$v = (160 - 1,918HRC) \cdot 10^{-3}. \quad (4)$$

*Определение предела текучести.* Предел текучести, как и предел прочности, стандартно определяется методом растяжения или сжатия плоских или цилиндрических образцов. Но известны и неразрушающие методы определения этих параметров материала [10].

Предел текучести и предел прочности определялся после вдавливания шарика в исследуемый материал, замера диаметра отпечатка  $d$  (мм), а затем расчета «числа твёрдости»,  $\text{кГ/мм}^2$ :

$$H \approx \frac{P_T + 100}{\pi D h + 0,41}, \quad (5)$$

где  $P_T$  – сила вдавливания, кГ;  $D$  – диаметр шарика для определения предела текучести (рекомендуется 5 мм), мм;  $h$  – глубина восстановленного отпечатка, мм.

Эта глубина определялась, мм:

$$h = 0,5(D - \sqrt{D^2 - d^2}) - W, \quad (6)$$

где упругое смещение для контакта сталь-сталь, мм

$$W = 0,615 \sqrt[3]{\frac{P_T^2}{E^2 R}}, \quad (7)$$

здесь  $E$  – модуль продольной упругости стали, МПа.

Диаметр отпечатка можно определить вдавливанием шарика в плоскую поверхность детали, тогда диаметр отпечатка определяется непосредственно при помощи металлографической лупы  $d$ . В том случае, если нет возможности произвести замеры диаметра отпечатка на плоско-

сти, можно произвести замер непосредственно на цилиндрической рабочей поверхности детали. В этом случае замеряются полуоси  $a$  и  $b$  эллиптического отпечатка, и диаметр рассчитывается, мм:

$$d = 2\sqrt{a \cdot b}. \quad (8)$$

По «числу твёрдости»  $H$  определялся предел текучести, кГ/мм<sup>2</sup>:

для сталей с  $H$  больше 600 кГ/мм<sup>2</sup>:

$$\sigma_s = 0,185H, \quad (9)$$

для сталей с  $H$  меньше 600 кГ/мм<sup>2</sup>:

$$\sigma_s = 0,1H + 51. \quad (10)$$

*Предварительный выбор радиуса шарика.* Радиус шарика для обкатки  $R_{III}$  (мм) осуществлялся исходя из минимальной силы прижатия и конструктивных особенностей приспособления для поверхностного упрочнения.

*Предварительное определение силы прижатия шарика при ППД.* Определение силы прижатия шарика производилась в несколько этапов. На первом этапе требуемая глубина деформации  $h_s$  приравнивалась глубине залегания максимума касательного напряжения  $h_\tau$ .

Для определения глубины наклепа  $h_s$  (в мм) использовалась формула, учитывающая кривизну соприкасающихся поверхностей в случае обкатки цилиндрических деталей [11], силу прижатия шарика  $P$  (в кГ) и предел текучести материала  $\sigma_s$  (в кГ/мм<sup>2</sup>):

$$h_s = \frac{1}{m} \sqrt{\frac{P}{2\sigma_s}}, \quad (11)$$

где  $m = 1 + 0,07R_{II}$  – коэффициент, учитывающий приведенную кривизну поверхностей контакта,  $R_{II}$  – приведенный радиус кривизны контактирующих деталей.

Для шарика и цилиндрической детали, мм:

$$R_{II} = \frac{1}{\frac{2}{R_{III}} + \frac{1}{R_{II}}}, \quad (12)$$

где  $R_{III}$  – радиус шарика, мм;  $R_{II}$  – радиус цилиндрической обкатываемой детали, мм.

Из формулы (11) требуемая сила прижатия (для предварительного определения силы  $P$  принято  $h_s = h_\tau$ ), кГ:

$$P = 2\sigma_s \cdot (h_s \cdot m)^2. \quad (13)$$

*Выбор величины подачи.* Предварительный расчёт величины подачи при ППД выполнялся исходя из обеспечения требуемой шероховатости  $R_z$ . Из формулы, связывающей подачу  $S$  и радиус  $R_{III}$  деформирующего шарика с получаемой шероховатостью поверхности [1], была рассчитана подача за один оборот детали, требуемая для обеспечения заданной шероховатости, мм:

$$S = 2\sqrt{R_z(2R_{III} - R_z)}. \quad (14)$$

*Корректировка подачи по оптимальной производительности обкатки.* При выборе величины подачи также необходимо обеспечение соответствующей производительности обкатки.

При известных величинах числа оборотов  $n$  (об/мин) вращения детали на станке, длины образующей  $L$  (мм) и заданном времени обкатки  $t$  (час) подача за один оборот должна быть равна, мм:

$$S = \frac{L}{60 \cdot t \cdot n}. \quad (15)$$

Окончательно подбор подачи, времени обкатки, числа оборотов и др. параметров осуществляется при совместном решении уравнений (14) и (15).

*Определение максимальной необходимой глубины пластической деформации.* Важным моментом при разработке технологических параметров ППД является определение величины продольной подачи инструмента для образования сплошного наклёпанного слоя на требуемой глубине.

Если предположить, что пластическая деформация при внедрении шарика в цилиндриче-

скую деталь распространяется по эллипсу (аналогично упругой деформации в задаче Герца), то границы пластически деформированных объемов металла при вращении детали на один оборот

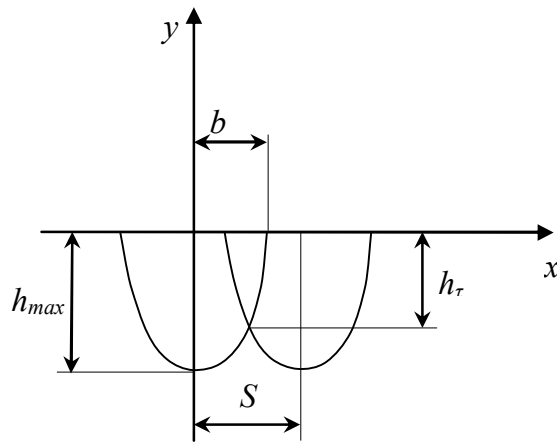


Рисунок – Схема расположения границ деформированного металла при повороте детали на один оборот

Для определения приведенного радиуса пластического отпечатка предложена теоретическая формула, которая для сталей с  $H > 600 \text{ кг/мм}^2$  имеет вид, мм:

$$r_0 = 0,5 \cdot \sqrt{D_{III}^2 - \left( \left( \frac{0,1 \cdot (P+100)}{\sigma_s - 51} \right) + 1,23 \cdot \sqrt{\frac{P^2}{E^2 \cdot R_{III}}} \right) - D_{III}}^2, \quad (18)$$

а коэффициент соотношения полуосей пластического отпечатка:

$$k_b = \sqrt{\frac{R_{III} + R_{II}}{R_{II}}}. \quad (19)$$

*Окончательное определение силы прижатия шарика.* Далее производилась подстановка нового значения требуемой глубины деформации  $h_s = h_{max}$  в уравнения (13) и снова рассчитывалась сила  $P$  прижатия шарика. Расчеты по формулам (13), (16)-(19) повторялись до совпадения расчетной величины силы  $P$  с предыдущей в пределах 5%.

Предложенная методика опробована экспериментально при исследовании влияния ППД на сопротивление контактной усталости цилиндрических образцов из стали 90ХФ твёрдостью 43-45HRC. Данные экспериментов подтвердили эффективность упрочнения закалённой высокоуглеродистой стали поверхностно-пластическим деформированием. При напряжении на поверхности образца 1595 МПа, что соответствует напряжению в контакте опорного и рабочего валков клетки кварто стана 3000 (при максимальной силе прокатки 70 МН), долговечность упрочненных образцов была на 78% выше, чем неупрочнённых. При контактном напряжении 1348 МПа (что соответствовало номинальной силе прокатки в 50 МН) долговечность образцов после ППД в 7,7 раза превышала долговечность образцов без упрочнения.

### Выводы

1. Показано, что предлагаемые различными авторами методики расчета параметров ППД имеют ограничения и носят общий характер без их точного расчета.
2. На основе проведенного анализа разработаны основные положения методики выбора технологических параметров поверхностно-пластического деформирования с целью повышения сопротивления контактной усталости и предложены расчетные зависимости для их определения.
3. Задачами дальнейших исследований являются: уточнение ряда расчетных зависимостей для определения технологических параметров, применимости предложенной методики для

деталей, изготовленных из различных марок сталей, разной твёрдости, которые подвергаются контактно-усталостному разрушению.

#### Список использованных источников:

1. Папшев Д.Д. Упрочнение деталей обкаткой шариками / Д.Д. Папшев. – М. : Машиностроение, 1968. – 132 с.
2. Гребеник В.М. Повышение надежности металлургического оборудования / В.М. Гребеник, А.В. Гордиенко, В.К. Цапко. – М. : Металлургия, 1988. – 688 с.
3. Разработка процесса планетарно-поворотной обкатки / И.А. Михайловский, В.И. Куцепендик, Е.И. Гун, И.Г. Гун, В.В. Сальников // Металлургические процессы и оборудование. – 2014. – № 1 (35). – С. 39-45.
4. Киричек А.В. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьёв, А.Г. Лазуткин. – М. : Машиностроение, 2004. – 288 с.
5. Саверин М.М. Контактная прочность материала в условиях одновременного действия нормальной и касательной нагрузок / М.М. Саверин. – М. : Машгиз, 1946. – 148 с.
6. Науковий твір. Програма розрахунку напруженого стану контакту двох циліндрів за наявності дотичних сил, напруги на площині контакту, зовні площині, на площині, під поверхнею, по осі OZ / А.В. Ширяєв, А.О. Фролов. – Свідоцтво № 21356 від 23.07.2007.
7. Ширяев А.В. Развитие контактно-усталостного выкрашивания при циклическом контакте тел / А.В. Ширяев // XI Региональная научно-техническая конференция : тезисы докладов в 2 т. – Мариуполь : ПГТУ, 2004. – Т. 2. – С. 17.
8. Контактно-усталостная прочность опорных валков / Б.А. Морозов [и др.] // Напряжения, деформации и расчеты на прочность металлургических машин : Сб. науч. тр. ВНИИМЕТМАШ. – М. : ВНИИМЕТМАШ, 1988. – С. 30-42.
9. Ширяев А.В. Исследование касательной силы при качении в условиях упруго-пластического и пластического контакта / А.В. Ширяев, И.В. Головачёва // Захист металургійних машин від поломок : Зб. наук. пр. – Маріуполь. – 2010. – Вип. 14 – С. 32-35.
10. Дрозд М.С. Определение механических свойств металла без разрушения / М.С. Дрозд. – М. : Металлургия, 1965. – 72 с.
11. Кудрявцев И.В. Влияние кривизны поверхностей на глубину пластической деформации при упрочнении деталей поверхностным наклепом / И.В. Кудрявцев, Г.Е. Петушков // Вопросы прочности и долговечности машиностроительных материалов и деталей : Сб. науч. тр. ЦНИИТМАШ. – 1966. – № 61. – С. 111-116.

#### References:

1. Papshev D.D. *Uprochnenie detalei obkatkoi sharikami* [Hardening spinning balls]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1968. 132 p. (Rus.)
2. Grebenik V.M. *Povyshenie nadezhnosti metallurgicheskogo oborudovaniia* [Improving the reliability of metallurgical equipment]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1988. 688 p. (Rus.)
3. Mikhaylovskiy I.A. *Razrabotka protsessa planetarno-povorotnoi obkatki* [Process development of a planetary-turning burnishing]. *Metallurgicheskie protsessy i oborudovanie – Metallurgical processes and equipment*, 2014, no. 1 (35), pp. 39-45. (Rus.)
4. Kirichek A.V., Solovyov D.L., Lazutkin A.G. *Tekhnologiya i oborudovanie statiko-impul'snoi obrabotki poverkhnostnym plasticheskim deformirovaniem* [Technology and equipment for static-pulse processing of surface plastic deformation]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2004. 288 p. (Rus.)
5. Saverin M.M. *Kontaktnaia prochnost' materiala v usloviiakh odnovremennogo deistviia normal'noi i kasatel'noi nagruzok* [Contact strength material under conditions of simultaneous action of normal and tangential loads]. Moscow, Mashgiz Publ., 1946. 148 p. (Rus.)
6. Shiryaev A.V., Frolov A.A. *Naukovii tvir «Programa rozrakhunku napruzhеного стану контакту двох циліндрів за наявності дотичних сил, напруги на площині контакту, зовні площині, на площині, під поверхнею, по осі OZ»* [Scientific work «Program of calculation of the tense state of contact of two cylinders at presence of tangent forces, tension on the plane of contact, outwardly to the plane, on a plane, under a surface, on wasp OZ»]. Certificate about registration no. 21356, 2007. (Ukr.)

7. Shiryaev A.V. *Razvitie kontaktno-ustalostnogo vykrashivaniia pri tsiklicheskom kontakte tel. Anotsatsii dopovidei 11 Region. nauk.-prakt. konf.* [Development of the pin-tireless painting at the cyclic contact of bodies. Abstracts of 11th. Region. Sci.-Pract. Conf.]. Mariupol, 2004, vol. 2, p. 17. (Rus.)
8. Morozov B.A. *Kontaktno-ustalostnaia prochnost' opornykh valkov* [Contact fatigue strength of rolls]. *Napriazheniia, deformatsii i raschety na prochnost' metallurgicheskikh mashin: sb. nauch. trud. VNIIMETMASH – Stress, strain and strength calculations of metallurgical machines: collection of VNIIMETMASH scientific works*, 1988, pp. 30-42. (Rus.)
9. Shiryaev A.V., Golovachjova I.V. *Issledovanie kasatel'noi sily pri kachenii v usloviakh uprugoplasticheskogo i plasticheskogo kontakta* [Research of tangent force at wobbling in the conditions of resilient – plastic and plastic contact]. *Zashchita metallurgicheskikh mashin ot polomok – Protection of metallurgical machinery from damage*, 2010, no. 14, pp. 32-35. (Rus.)
10. Drozd M.S. *Opreделение mehanicheskikh svoystv metalla bez razrusheniya* [Determination of mechanical properties of metal non-destructive]. Moscow, Metallurgiya Publ. 72 p. (Rus.)
11. Kudryavtsev I.M. *Vliianie krivizny poverkhnostei na glubinu plasticheskoi deformatsii pri uprochnenii detalei poverkhnostnym naklepom* [Influence of curvature surfaces to a depth of plastic deformation when hardening details surface of work hardening]. *Voprosy prochnosti i dolgovechnosti mashinostroitel'nykh materialov i detalei: Sb. nauch. tr. TsNIITMASH – Questions of strength and durability of engineering materials and components: collection of TSNIITMASH scientific works*, 1966, no. 61, pp. 111-116. (Rus.)

Рецензент: В.М. Кравченко  
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 03.10.2016

УДК 669.184-412:539.4.011

© Лоза А.В.<sup>1</sup>, Чигарев В.В.<sup>2</sup>, Шишкин В.В.<sup>3</sup>

### ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СТАЛЬНЫХ ЛИТО-СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*Рассмотрены приемы качественного изготовления и ремонта стальных лито-сварных конструкций. Показаны преимущества комбинированных изделий и их недостатки, обусловленные структурой литого металла. Рассмотрено влияние дефектов сварного соединения на прочность конструкции. Даны рекомендации, обеспечивающие высокое качество сварного соединения и более длительный срок эксплуатации конструкций.*

**Ключевые слова:** лито-сварная конструкция, углеродистые стали, сварное соединение, дефекты структуры, прочность, качество, долговечность.

**Лоза А.В., Чигарев В.В., Шишкин В.В.** *Підвищення якості сталевих лито-зварних конструкцій. Розглянуті прийоми якісного виготовлення і ремонту сталевих лито-зварних конструкцій. Показані переваги комбінованих виробів і їх недоліки, обумовлені структурою литого металу. Розглянутий вплив дефектів зварного з'єднання на міцність конструкції. Дані рекомендації, що забезпечують високу якість зварного з'єднання і більш тривалий термін експлуатації конструкцій.*

**Ключові слова:** лито-зварна конструкція, вуглецеві сталі, зварне з'єднання, дефекти структури, міцність, якість, довговічність.

<sup>1</sup> ст. преп., ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, [loza\\_a\\_v@pstu.edu](mailto:loza_a_v@pstu.edu)

<sup>2</sup> д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, [chigarew07@rambler.ru](mailto:chigarew07@rambler.ru)

<sup>3</sup> канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, [shishkin\\_V\\_V@pstu.edu](mailto:shishkin_V_V@pstu.edu)