

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ОБЪЕМНОГО И ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Борис Бутаков

Николаевский государственный аграрный университет
54029 Украина, г. Николаев, ул. Парижской комунны 9

Аннотация. В статье представлены две технологии упрочнения металлов и сплавов: объемное упрочнение металлических заготовок в процессе их затвердевания из жидкого состояния в твердое, поверхностное упрочнение деталей с помощью обкатывания их роликами. Описана гипотеза механизма измельчения макро- и микроструктуры металла при электрогидроимпульсном воздействии – создание фактического переохлаждения расплава до 14 К и зарождение дополнительных центров кристаллизации, разрушение дендритов на границе твердой и жидкой фаз с помощью волны сжатия. Представлена методика выбора оптимального усилия обкатывания роликами в зависимости от геометрических размеров детали и ролика и твердости обрабатываемой детали.

Ключевые слова: Дегазация, рафинирование, кристаллизация, обкатывание роликами

ВВЕДЕНИЕ

Проблема повышения долговечности и работоспособности машин и оборудования связана с улучшением качества металла и обеспечением повышенного сопротивления его разрушению, это прежде всего обеспечивается однородностью структуры и свойств металла в разных направлениях [1].

Заготовки наиболее ответственных деталей тяжело-нагруженных машин после затвердевания слитков перед механической обработкой для повышения физико-механических свойств подвергают ковке или штамповке, в процессе которых измельчаются макро- и микроструктура металла, повышается ее однородность. Однако многие дефекты, образующиеся при затвердевании слитка, после всех стадий изготовления переходят в готовое изделие. Образующаяся при затвердевании структура отливки полностью определяет ее механические и служебные свойства. Второй путь повышения качества деталей машин – повышение физико-механических свойств их поверхностного слоя. Наиболее дешевый и достаточно эффективный способ поверхностного упрочнения, это поверхностное пластическое деформирование.

ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСНАЯ ОБРАБОТКА ЖИДКИХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Установлено, что жидкие металлы микронеоднородны по структуре и химическому составу в меньшей степени, чем твердые [2, 3]. Потому при кристаллизации усиливается микронеоднородность металлов в зависимости от скорости охлаждения. Кроме того, необходимо уменьшать общее содержание газов и вредных неметаллических примесей в поковках и отливках.

С целью дегазации, рафинирования и уменьшения макро- и микронеоднородности поковки и отливки широко применяют методы внешнего физического воздействия на жидкий и кристаллизующийся металл. К ним можно отнести: низкочастотную вибрацию, электромагнитное перемешивание и ультразвуковую обработку.

Институтом импульсных процессов и технологий НАН Украины совместно с УкрНИИ-металлов, г Харьков, и другими организациями разработан метод электрогидроимпульсного воздействия (ЭГИВ) на жидкий и кристаллизующийся металл ударными импульсами, создаваемыми электроразрядными вибраторами [4].

При высоковольтном пробое промежутка между положительным электродом и пластиной вибратора электрическая энергия, запасенная в конденсаторе генератора импульсных токов (ГИТ), выделяется в канале разряда – области между электродами в жидкости, переведенной в плазменное состояние. Время выделения энергии составляет от 1 до 100 мкс. В результате преобразования электрической энергии в тепловую вещество канала разряда превращается в плотную низкотемпературную плазму ($40 \cdot 10^3$ К). Давление в канале достигает 10^9 Па. Высокие параметры плазмы канала разряда приводят к его расширению со скоростью десятков метров в секунду, что вызывает появление сильной волны сжатия, которая через пластину вибратора передается жидкому или кристаллизующемуся металлу.

При электрогидроимпульсной обработке (ЭГИО) электроразрядные вибраторы поджимаются или непосредственно к поверхности затвердевающей заготовки во вторичной зоне охлаждения при непрерывной разливке стали, или к стенке изложницы, или волна сжатия от пластины вибратора передается через волновод в жидкий металл, залитый в ковш. При вакуумно-дуговом переплаве пластина вибратора, излучающая волну сжатия, является поддоном, на который наплавляется слиток.

Для оптимизации режимов ЭГИО и изучения механизма измельчения зерна автором измерены сила удара пластины вибратора по обрабатываемому металлу, давление, скорость и интенсивность в волне сжатия, создаваемой электроразрядным вибратором.

Для определения силы удара пластины вибратора по затвердевающему слитку применяют упруго-контактный метод, основанный на измерении местных упругих деформаций при соударении закаленных тел со сферическим и плоским торцами [5]. Регистрация показаний сводится к измерению под микроскопом диаметра окружности,

являющейся границей поверхности упругого соприкосновения тел при ударе. Чтобы эта граница была видимой, одну из контактируемых поверхностей покрывают слоем вещества (например, трехпроцентным раствором парафина на бензоле), которое проявляет зону упругого контакта. Раствор наносили кисточкой на плоскую пластину, при испарении бензола на пластине образовывался тонкий слой парафина. Статическое тарирование устройства проводили на прессе. Радиус сферического наконечника рассчитывали по рекомендациям работы [6] для исключения пластической деформации в зоне контакта. Погрешность измерения не превышает 10%.

Для определения давления, скорости и интенсивности в волне сжатия, создаваемой электроразрядным вибратором при наличии больших импульсных электромагнитных полей, автором применен метод мерных стержней Гопкинсона [7, 8]. На шлифованную поверхность пластины вибратора, покрытую тонким слоем смазочного материала, устанавливали мерные стержни со шлифованными торцами. Волна сжатая, генерируемая в пластине вибратора при высоковольтном пробое распространяется со скоростью $C = \sqrt{E/\rho}$ (E — модуль продольной упругости и ρ — плотность стали), проходит через контакт стержня с пластиной, доходит до верхнего торца, отражается от него и в виде волны растяжения идет к пластине вибратора.

Когда суммарное давление на поверхности вибратора будет растягивающим и превысит массу стержня, последний переместится вверх на величину h со скоростью $v_{zp} = \sqrt{2gh}$, где g — ускорение свободного падения.

Количество движения (импульс силы), которое захватит с собой стержень, определяют по формуле:

$$Pt = mv_{zp}, \quad (1)$$

где P — сила на торце стержня, Н;

t — время, за которое волна сжатия пройдет расстояние, равное удвоенной длине стержня–груза, $2l_{zp}$, с:

$$t = \frac{2l_{zp}}{C}, \quad (2)$$

где $C = 5 \cdot 10^3$ м/с.

Были приняты стержни различной длины ($l_{zp} = 12,5; 25; 50; 100; 200; 400$ мм) и диаметром $d_{zp} = 40$ мм (погонная масса 0,01 кг/мм длины). Высоту подъема грузов разной длины, а следовательно, и разной массы фиксировали визуально относительно линейки с ценой деления 1 мм, а при высоте подъема, меньшей 50 мм, измеряли величины смятия пластилиновых столбиков, устанавливаемых над грузом.

Для груза диаметром 40 мм в соответствии с формулами (1) и (2) определяют силу на его торце:

$$P = \frac{m\sqrt{2gh}}{2l_{zp}/C} = 108\sqrt{h}, \quad \text{находят среднее}$$

$$\text{давление на торце груза: } \tilde{p} = \frac{4P}{\pi d_{zp}^2} \approx 86\sqrt{h}. \quad (3)$$

Среднюю скорость в волне сжатия определяют как половину скорости вылета груза:

$$\tilde{v} = \frac{v_{zp}}{2} = 2,20\sqrt{h}. \quad (4)$$

Средняя интенсивность в волне сжатия:

$$\tilde{I} = \tilde{v}\tilde{p} = 190h. \quad (5)$$

Градиент среднего давления в волне сжатия на ее переднем фронте можно рассчитать по формуле:

$$\text{grad } \tilde{p} = \frac{\tilde{p}}{2l_{zp \min}} = \frac{86\sqrt{h}}{2l_{zp \min}}.$$

При $l_{zp \min} = 12,5$ мм,

$$\text{grad } \tilde{p} = 3,4\sqrt{h}. \quad (6)$$

При передаче ударного импульса непосредственно пластиной в обрабатываемую среду (например, при вакуумно–дуговом переплаве сплавов), учитывая волновые сопротивления $\rho\tilde{v}$

материала пластины и обрабатываемой среды, коэффициент отражения на границе пластины – обрабатываемая среда в соответствии с работой [4] определяют по формуле:

$$K = \frac{\rho_n C_n - \rho_c C_c}{\rho_n C_n + \rho_c C_c}, \quad (7)$$

где ρ_n и C_n – соответственно плотность материала пластины и скорость звука в нем; ρ_c и C_c – соответственно плотность обрабатываемой среды и скорость звука в ней.

При вакуумно–дуговом переплаве титановых сплавов на медном охлаждаемом поддоне, являющемся пластиной вибратора, коэффициент отражения волны сжатия при $\rho_n C_n = 33 \cdot 10^5$ г/см²·с и $\rho_c C_c = 22,9 \cdot 10^5$ г/см²·с, т. е. амплитуда давления в волне сжатия уменьшится при переходе ее из меди в титановый сплав на 18%.

$$K = \frac{33 \cdot 10^5 - 22,9 \cdot 10^5}{33 \cdot 10^5 + 22,9 \cdot 10^5} = 0,18.$$

С учетом значений волновых сопротивлений для стали и алюминиевых сплавов (39,4 и 13,7 г/см²·с соответственно) следует рекомендовать при ЭГИО в ковше жидкой стали применение стального волновода, а при ЭГИО алюминиевых сплавов – волновода из титановых сплавов. При этом коэффициент отражения волны сжатия, рассчитанный по формуле (7), для первого случая (волновое сопротивление жидкой стали $\rho_n C_n = 7,35 \cdot 5 \cdot 10^5 = 36,5 \cdot 10^5$ г/см²·с $K = 0,05$ и для второго случая $K = 0,25$. В таблице приведены средние значения давления, скорости, интенсивности и градиента давления в волне сжатия для методов внешнего физического воздействия на процесс кристаллизации сталей. Для ЭГИО приведены данные расчета характеристик волны сжатия по формулам (3) – (7) для вибратора со стальной пластиной толщиной $\delta = 10$ мм, диаметром 185 мм при энергии разряда $Q = 0,625$ кДж, зарядном напряжении $U = 50$ кВ, емкости конденсаторов ГИТ, $c = 0,3$ мкФ, индуктивности разрядного контура $L = 10$ мкГн, высоковольтном разряде на

пластину, межэлектродном промежутке $l_p = 50$ мм.

Для гармонических синусоидальных колебаний при низкочастотной вибрации, электромагнитном перемешивании и ультразвуке градиент давления $\text{grad } \tilde{p}$ рассчитывают по формуле:

$$\text{grad } \tilde{p} = p_{\max} \frac{2\pi f}{C},$$

где: p_{\max} – амплитуда колебаний давления, МПа; f – частота колебаний, Гц.

На рис. 2 приведена схема механизма ЭГИВ на процессы дегазации, рафинирования и кристаллизации металлов. При разработке этой схемы за основу взята схема механизма воздействия ультразвука на процессы дегазации и кристаллизации металлов [9-12]. При использовании мощных ультразвуковых генераторов удастся получить интенсивность колебаний J до 300 Вт/см^2 . Применив зависимость $\tilde{p} = \tilde{v} \rho C$ с учетом (5), имеем $\tilde{p} = \sqrt{J \rho C}$; для стали получим $\tilde{p} = 10,8$ МПа; $\tilde{v} = 0,3$ м/с. Такое давление не может создать фактическое переохлаждение расплава, при котором могли бы образоваться дополнительные центры кристаллизации. В соответствии с работой [13] при давлении 1 МПа переохлаждение составит $(3 - 5) \cdot 10^{-2}$ К. Поэтому для ультразвуковой обработки в качестве основных факторов воздействия на процесс кристаллизации считают наличие кавитации в расплаве и акустических потоков. Кавитация приводит при захлопывании кавитационных каверн к образованию микроударных волн, способствующих дроблению кристаллов, образованию новых центров на активированных за счет ударных волн нерастворим примесях. Акустические потоки приводят к перемешиванию и диспергированию кристаллов.

Более мощное воздействие по сравнению с ультразвуком на процессы диспергирования кристаллов, их зарождения и перемешивания расплава осуществляется при ЭГИО. На излучающей стальной пластине электрозарядного вибратор

ра создается волна сжатия интенсивностью $J = 200 \cdot 10^3 \text{ Вт/см}^2$ (см. таблицу), что на два-три порядка выше интенсивности ультразвуковой волны. Давление в волне сжатия достигает значений $\tilde{p} = 288$ МПа, скорость $\tilde{v} = 7$ м/с. При этом давлении фактическое переохлаждение расплава составит $8,5 - 14$ К. В этом случае возможно появление новых центров кристаллизации в расплаве.

Градиент давления (до 11 МПа/мм) на переднем фронте волны сжатия вызывает дробление кристаллов без кавитации, особенно на границе твердой и жидкой фаз, см рис. 1.

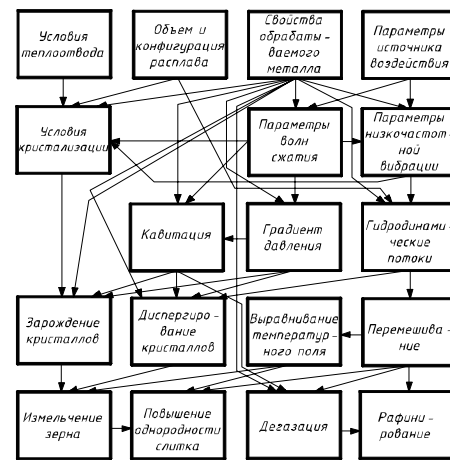


Рис. 1. Схема механизма ЭГИВ на процессы дегазации, рафинирования и кристаллизации металлов

Fig. 1. The EGIV mechanism scheme on processes of decontamination, refinement and crystallization of metals

Таким образом, импульсное введение энергии в жидкий и кристаллизующийся металл при ЭГИО создает возможность обрабатывать большие массы металла (50 т и более) с малыми энергетическими затратами (2 – 10 МДж на 1 т расплава). По удельным энергетическим затратам ЭГИО имеет существенные преимущества по сравнению с традиционными методами внешнего физического воздействия, приведенными в таблице.

Установки для ЭГИО жидкой стали в ковшах емкостью от 6 до 30 т внедрены в производство на Черноморском и

Таблица 1. Давление, скорость, градиент давления в волне сжатия при методах внешнего физического воздействия на процесс кристаллизации сталей

Table 1. Pressure, speed, a pressure gradient in a compression wave at methods of external physical impact on process of crystallization staly

Методы внешнего физического воздействия	Частота импульсов или колебаний f , МПа	Давление \tilde{P} , МПа	Скорость \tilde{V} , м/с	Интенсив J , Вт/см ²	Градиент давления grad \tilde{P} , МПа/мм
Низкочастотная вибрация	50	4,7	0,13	60,0	$2,6 \cdot 10^{-4}$
Электромагнитное перемешивание	50	36,4	1,0	3540	$2 \cdot 10^{-3}$
Ультразвук	20000	10,8	0,28	300	$3 \cdot 10^{-1}$
ЭГИО	–	288,0	7,0	$200 \cdot 10^3$	11,5

Балтийском судостроительных заводах, при непрерывной разливке стали – на Руставском металлургическом заводе. Опытная установка для обработки титановых сплавов при вакуумно-дуговом переплаве успешно испытана при получении слитка диаметром 450 мм на Верхнесалдинском металлургическом производственном объединении.

При ЭГИО ударная вязкость повышается до 30%, порог хладноломкости снижается от -40 до -65°C [4]. Выход годного повышается на 2 – 3%.

ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН С ПОМОЩЬЮ ОБКАТЫВАНИЯ ИХ РОЛИКАМИ

Одним из методов повышения эксплуатационных свойств деталей, которые компенсируют дефекты механической обработки, является поверхностное пластическое деформирование (ППД). С помощью ППД деталей в процессе их механической обработки достигают в поверхностном слое большую степень наклепа (до 100%), высокий уровень остаточных сжимающих напряжений (до 350 МПа), получают шероховатость обработанной поверхности $R_a = 0,1 - 0,16$ мкм. Это способствует повышению усталостной прочности деталей и износостойкости пар трения.

Одной из основных задач ППД является решение вопроса совмещения чистовой и упрочняющей обработки. Для упрочняющего и чистового обкатывания стальных деталей широко применяют устройства с торообразным роликом. Установлено, что при больших углах вдавливания ролика на обкатанной поверхности детали появляется волнистость с шагом, отличным от величины подачи ролика. При этом торцовое биение ролика считается основной причиной появления волнистости [14, 15].

При упрочняющем обкатывании тонкий поверхностный слой для исключения волнистости поверхности после обкатывания или стачивают, что существенно уменьшает эффективность упрочнения, а при чистовом обкатывании для предотвращения появления волнистости ограничивают задний угол вдавливания ролика в плоскости подачи φ_a до $2 - 3^\circ$, что, однако, ограничивает чистовой эффект обкатывания параметром шероховатости $40 \leq R_z \leq 160$ мкм.

Универсальным динамометром УДМ измерены составляющие усилия P обкатывания торообразным роликом валов диаметром 100 – 120 мм на токарном станке.

На рис. 2 приведена осциллограмма составляющих усилия P при обкатывании вала из наиболее распространенной стали 40 ($HB 200$), полученная при установке роликового узла на опо-

рах скольжения, т. е. применительно к конструкции устройств, используемых на заводах для упрочняющего и чистового абкатывания стальных деталей. При этом номинальное значение $P_{yn} = 5$ кН, а соотношение: $P_{xn}:P_{yn}:P_{zn} = 0,15:5:1,5$.

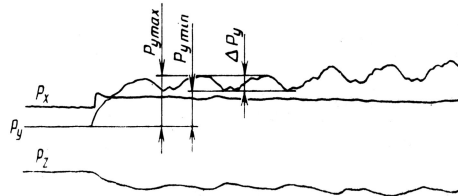


Рис. 2. Оциллограмма составляющих усилия P обкатывания:

P_x – сила качения ролика; P_y – сила поджима ролика к детали; P_z – сила подачи

Fig. 2. The oscillogram of R making effort about-katyvaniya:

P_x – force of a kacheniye of a roller; P_y – force podzhy a roller to a detail; P_z – force of giving

Из оциллограммы видно, что сила P_x в процессе обкатывания остается практически постоянной, а силы P_y и P_z – с каждым оборотом ролика периодически изменяются; амплитуда колебания силы P_y составляет $\Delta P_y = 0,45P_{yn}$, сила P_z изменяется менее заметно. При установке роликового узла на подшипниках качения, как показали измерения, $\Delta P_y \leq 0,03 \cdot P_{yn}$, а колебаний сил P_x и P_z практически не обнаружено.

Коэффициент трения в подшипниках скольжения составляет $f_c = 0,05 - 0,1$, а в подшипниках качения $f_k = 0,003 - 0,008$, поэтому стабилизация силы P при установке роликового узла на подшипниках качения достигается существенным уменьшением сил трения в опорах. Это позволяет предположить, что основной причиной появления волнистости является наличие колебания усилия P обкатывания при каждом обороте ролика в результате его радиального биения [16].

На рис. 3 приведена номограмма для определения усилия обкатывания деталей из стали 20 (P_{20}) по заданным профильному радиусу ролика r_p , его

диаметру D_p и детали D_d и пример выбора усилия P_{20} для раскатывания в стальной детали (сталь 20) отверстия диаметром $D_d = 100$ мм роликом диаметром $D_p = 40$ мм с профильным радиусом $r_p = 8$ мм. Полученное построением решение (точка A) означает, что в случае применения устройства с роликовым узлом на опорах скольжения при ограничении эффекта упрочнения из-за опасности появления волнистости на обкатанной поверхности усилие $P_{20(2,5)} = 0,5$ кН ограничено углом $\varphi_a = 2,5^\circ$; в случае же применения устройства с роликовым узлом на подшипниках качения с целью совмещения чистового и упрочняющего обкатывания $P_{20(5)} = 5$ кН, средний угол вдавливания ролика $\varphi = 5^\circ$. При обкатывании деталей повышенной твердости усилие P_{20} необходимо умножить на коэффициент твердости [14].

При обкатывании винтов и червяков с крупным шагом применяют с целью совмещения чистового упрочняющего обкатывания игольчатые ролики малого диаметра, $D_p = 3 - 4$ мм [16]. При этом за три прохода достигается деформация поверхности витков по всему профилю резьбы с образованием поверхности, имеющей шероховатость $R_a = 0,16 - 0,32$ мкм при исходной шероховатости, соответствующей $R_z = 12,5 - 50$ мкм (погонное усилие q на ролике, равное $1,4 - 1,6$ кН/мм, рассчитано по зависимости $q = 0,02 \text{ НМ}\varphi D_p$ [17]), где НМ – твердость по Мейеру. Зубья крупномодульных шестерен обкатывают коническими роликами со средним диаметром $D_p = 6$ мм [18].

При обкатывании плоских и волнистых поверхностей медных плит кристаллизаторов установок непрерывной разливки стали с учетом малой твердости меди применены ролики большего диаметра ($D_p = 40$ мм) с прямолинейной образующей длиной 25 мм. Обкатывание выполнялось с подачей $S = 5 - 8$ мм/дв. ход при усилии 11 кН. При исходной шероховатости $R_a = 10 - 20$ мкм получена поверхность с шероховатостью $R_a = 0,63 - 1,25$ мкм [19].

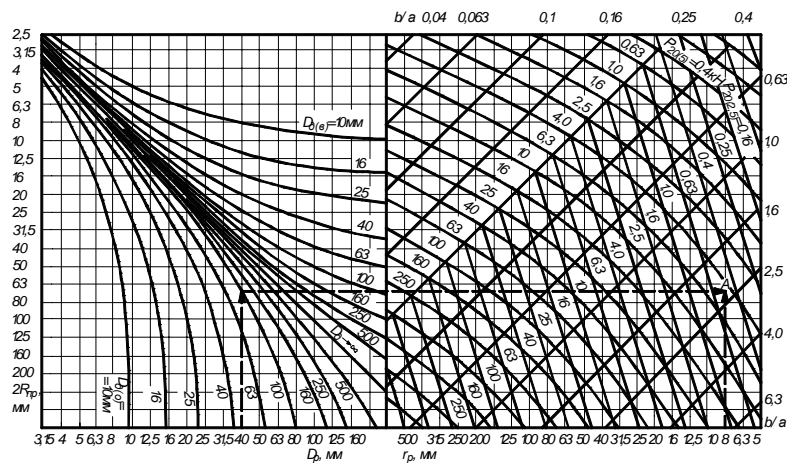


Рис. 3. Номограмма для определения усилия обкатывания деталей из стали 20 ($D_{\partial(e)}$ – диаметр обкатываемого вала; $D_{\partial(o)}$ – диаметр раскатываемого отверстия;

$$2R_{np} = 1/(D_p \pm 1/D_{\partial})$$

Fig. 3. The nomogram for definition of effort of an obkatyvaniye of details from steel 20 ($D_{\partial(e)}$ – diameter of a run-in shaft; $D_{\partial(o)}$ – diameter of an unrolled slots

$$2R_{np} = 1/(D_p \pm 1/D_{\partial})$$

Глубину наклепа при поверхностном пластическом деформировании рассчитывают по приближенной формуле С. Г. Хейфеца для круговых и близким к ним отпечатков. Для произвольных отпечатков необходимо использовать зависимости теории упругости в соответствии с гипотезой Губера–Мизеса средних касательных напряжений [20]. Наиболее достоверно с меньшими доверительными интервалами глубину наклепа экспериментально можно определить, исследуя условный предел текучести при разрыве микрообразцов, вырезанных из детали на различном расстоянии от поверхности [20].

ВЫВОДЫ

1. Усовершенствован метод мерных стержней Гопкинсона для определения характеристик волны сжатия на поверхности пластины электроразрядного вибратора (давления, скорости, ускорения, интенсивности). Метод основан на определении количества движения, передаваемого пластиной вибратора в мерные стержни.

2. Представлена гипотеза механизма измельчения макро- и микроструктуры металла при электрогидроимпульсном воздействии – создание фактического переохлаждения расплава до 14 К и зарождение дополнительных центров кристаллизации, разрушение дендритов на границе твердой и жидкой фаз с помощью волны сжатия, имеющей градиент давления выше 10 МПа/мм.

3. Заменой в опорах роликового узла обкатного устройства подшипников скольжения подшипниками качения достигается стабилизация усилия обкатывания, что позволяет исключить волнистость при значительных углах вдавливания роликов и обеспечивает возможность совмещения чистового и упрочняющего обкатывания.

4. Разработана методика расчета, выбора усилия обкатывания торообразными, бочкообразными и цилиндрическими роликами, обеспечивающая получение поверхности деталей с параметром шероховатости $R_a = 0,8 - 0,32$ мкм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпенко И., Миронов В., Шкурат С., Полянский П. 2008. Восстановление изношенных деталей методами газотермического напыления. *Мотрол.* – 264–267.
2. Ершов Г.С., Поздняк Л.А. 1985. Микронеоднородность металлов и сплавов. – М.: Металлургия. – 214.
3. Попов А. 2010. Новая теория контактной прочности упруго сжатых тел. *Мотрол.* – 223–232.
4. Поздеев В. А., Царенко П. И., Бутаков Б. И., Малошевский П. П. 1985. Электроразрядные генераторы упругих колебаний. – Киев: Наук. Думка. – 176.
5. Испытательная техника: В 2-х кн. / Под общ. ред. В. В. Клюева. 1982. – М.: Машиностроение, Кн. I. – 528.
6. Тимошенко С. В. 1965. Соппротивление материалов. Т. II. – М.: Наука, – 192.
7. Кольский Г. 1955. Волны напряжений в твердых телах – М.: ИЛ., – 192.
8. Бутаков Б.И. 2007. Пути повышения надежности деталей машин. Матеріали VII міжнародної науково-технічної конференції "Механізація і енергетика сільського господарства", Мотрол. – Люблін–Ропшице–Миколаїв, 11–14 вересня 2007.– 38–46.
9. Абрамов О. В., Хорбенко И. Г., Швегла Ш. 1984. Ультразвуковая обработка материалов. М.: Машиностроение – Братислава: Альфа. – 276.
10. Специальные способы литья: Справочник / В.А. Ефимов, Г.А. Анисович, В.Н. Бабич и др.; Под общ. ред. В.А. Ефимова. 1991. – М.: Машиностроение. – 436.
11. Ефимов В.А., Эльдарханов А.С. 1995. Физические методы воздействия на процессы затвердивания сплавов. – М.: Металлургия. – 272.
12. Ершов Г.С., Позняк Л.А. 1993. Структурообразование и формирование свойств сталей и сплавов. – К.: Наукова думка. – 384.
13. Чалмерс Б. 1968. Теория затвердивания. – М.: Металлургия. – 288.
14. Браславский В. М. 1975. Технология обкатки крупных деталей роликами. – М.: Машиностроение. – 160.
15. Одинцов Л.Г. 1987. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием. – М.: Машиностроение. – 328.
16. Бутаков Б. И. 1984. Усовершенствование процесса чистового обкатывания деталей роликами // Вестник машиностроения. - № 7. – 50 – 53.
17. Бутаков Б. И. 1985. Способы обкатывания роликом винтов и червяков с крупным шагом в тяжелом машиностроении // Вестник машиностроения. - № 3. - 44 – 50.
18. Браславский В. М., Бутаков Б. И. 1973. Обкатывание роликами зубьев крупномодульных шестерен // Вестник машиностроения. - № 3. - 63 – 64.
19. Браславский В. М., Топычканов В. В., Бутаков Б. И. 1980. Технология обработки медных плит кристаллизаторов // Вестник машиностроения. - № 9. - 58 – 59.
20. Бутаков Б. И. 1982. Оценка точности определения глубины наклепа при поверхностном пластическом деформировании // Вестник машиностроения. - № 11. - 22 – 24.

DEVELOPMENT OF
TECHNOLOGIES OF VOLUME
AND SUPERFICIAL HARDENING
OF METALS AND ALLOYS.

Abstract. In article two technologies of hardening of metals and alloys are presented: volume hardening of metal preparations in the course of their hardening from a liquid state in firm, superficial hardening of details by means of an obkатыvaniye their rollers. The hypothesis of the mechanism of crushing macro – and metal microstructures is described at electrohydropulse influence – creation of the actual overcooling расплава to 14 To and origin of the additional centers of crystallization, destruction of dendrites on border of firm and liquid phases by means of a compression wave. The technique of a choice of optimum effort of an obkатыvaniye by rollers depending on the geometrical sizes of a detail and a roller and hardness of a processed detail is presented.

Key words: Decontamination, refinement, crystallization, obkатыvaniye rollers.