

УДК 621.785

DOI 10.47367/0021-3497\_2024\_6\_222

**АНАЛИЗ УПРОЧНЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ЧУГУННЫХ ДЕТАЛЕЙ  
ВОЛКНООТДЕЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН В СВЯЗИ С ОСОБЕННОСТЯМИ  
СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА**

**ANALYSIS OF STRENGTHENING TECHNOLOGIES OF CAST IRON PARTS  
OF FIBER SEPARATING MACHINES IN CONNECTION WITH THE FEATURES  
OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE STRUCTURAL MATERIAL**

*И.Г. ШИН<sup>1</sup>, М.Р. МУМИНОВ<sup>2</sup>, Н.К. ИСКАНДАРОВА<sup>1</sup>, А.А. ЮСУПОВ<sup>1</sup>, С.Т. ТОЖИМИРЗАЕВ<sup>3</sup>*

*I.G. SHIN<sup>1</sup>, M.R. MUMINOV<sup>2</sup>, N.K. ISKANDAROVA<sup>1</sup>, A.A. YUSUPOV<sup>1</sup>, S.T. TOJIMIRZAEV<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан,

<sup>2</sup>АО “Paxtasanoat ilmiy markazi”, Республика Узбекистан,

<sup>3</sup>Ургенчский государственный университет, Республика Узбекистан)

(<sup>1</sup>Tashkent institute of textile and light industry, Republic of Uzbekistan,

<sup>2</sup>“Paxtasanoat ilmiy markazi” JSCo, Republic of Uzbekistan,

<sup>3</sup>Urgench state university, Republic of Uzbekistan)

E-mail: nigora1211@mail.ru

*В работе проведен анализ упрочняющих технологий чугуновых деталей машин с целью повышения их работоспособности и, прежде всего, износостойкости. Выполнено обоснование технологической возможности*

*и целесообразности механического упрочнения чугунных деталей волоконотделительных машин дробеударной обработкой микрошариками в связи с особенностями структуры и свойств конструкционного материала.*

*The article provides an analysis of hardening technologies for cast iron machine parts, carried out in order to increase their performance and, above all, wear resistance. A substantiation of the technological feasibility and feasibility of mechanical hardening of cast iron parts of fiber separating machines by shot-impact processing with micro-balls has been carried out in connection with the peculiarities of the structure and properties of the structural material.*

**Ключевые слова:** колосник, износ, решетка, чугун, структура, упрочнение, твердость, дробеударная обработка.

**Keywords:** gridiron, wear, grate, cast iron, structure, hardening, hardness, shot-impact processing.

### *Введение*

Колосниковая решетка волоконотделительных машин (джинов и линтеров) совместно с лобовым брусом и фартуком образует рабочую камеру, представляя собой одну из наиболее важных ее частей. Назначением колосниковой решетки в джинах является пропуск пильных дисков через технологические зазоры между колосниками в рабочую камеру и свободный вынос из нее волокна, оторванного от семян зубьями пильных дисков. На рис. 1 пред-

ставлена рабочая камера джина ДП-130 (поперечный разрез): 1 – нижний колосниковый брус; 2 – семенная гребенка; 3 – замок; 4 – фартук; 5 – лобовой (верхний) брус; 6 – колосник (колосниковая решетка); 7 – пила пильного цилиндра; на рис. 2 – рабочая камера линтера ПМ5-160М (поперечный разрез): 1 – колосник (колосниковая решетка); 2 – семенная гребенка; 3 – фартук; 4 – боковина; 5 – клапан плотности; 6 – лобовой (верхний) брус; 7 – ворочатель; 8 – пила пильного цилиндра.

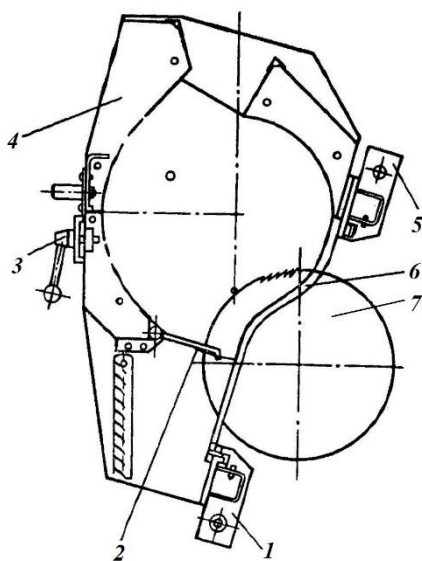


Рис. 1

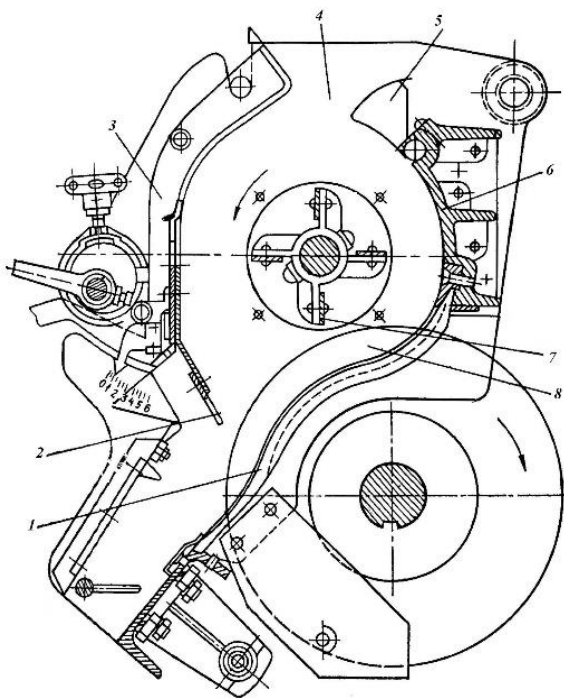


Рис. 2

Несмотря на различие в конструктивной форме колосников джина и линтера (рис. 3 – колосники волокноотделительной машины: а) джинный обычный марки ДП.АН. 005; б) джинный консольный мар-

ки 5ДП. 03.003; в) линтерный марки ЕН109-67Б) конструкция узла колосниковой решетки в этих машинах аналогична и состоит из боковины, лобового бруса, колосников, нижнего колосникового бруса.

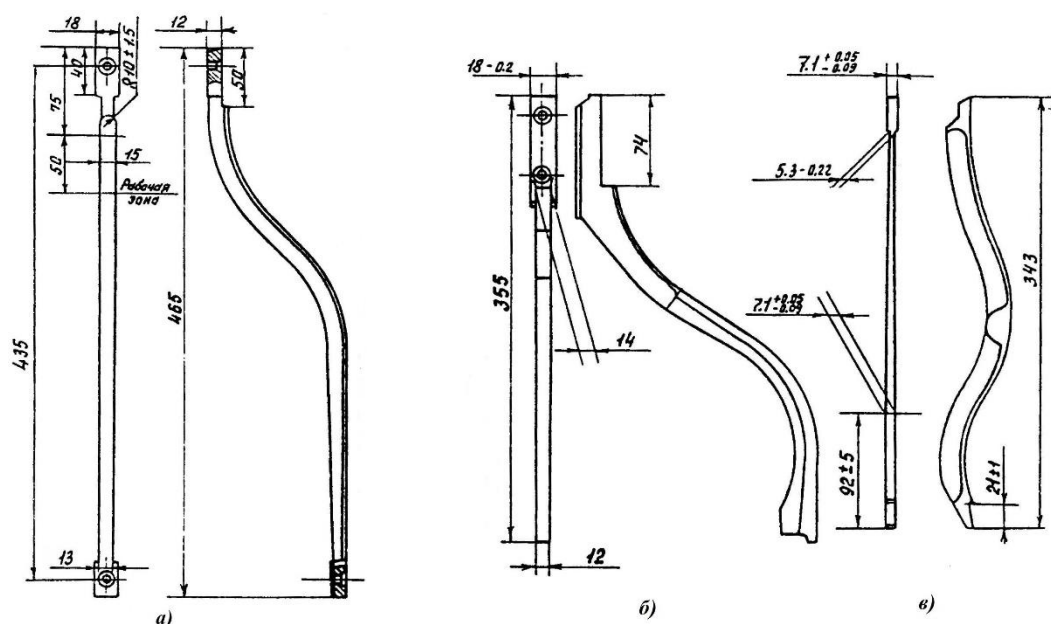


Рис. 3

При проектировании колосниковой решетки необходимо учитывать ряд технологических требований, предъявляемых к ее конструкции. Во-первых, колосники изготавливают из серого чугуна марки СЧ15; шероховатость поверхности рабочих частей от  $Ra=2,5 \dots 1,25$  мкм до  $1,25 \dots 0,63$  мкм. Шероховатость поверхностей колосников джина должна соответствовать  $Ra=2,5 \dots 0,32$  мкм для поверхностей, вступающих в контакт с сырцовым валиком и семенами; для боковых поверхностей в рабочем месте  $Ra=0,63 \dots 0,32$  мкм. Во-вторых, необходимо соблюдать величину технологического зазора [1, 2] на различных

участках колосниковой решетки (табл. 1), что является важным условием для нормальной работы пыльно-колосниковой системы джина и линтера. В-третьих, набор колосниковой решетки из новых подготовленных колосников производится по эталонному пыльному цилиндру в пилоремонтном цехе хлопкоочистительного завода на специальных стендах. Количество колосников в колосниковой решетке на единицу больше количества пил, установленных в пыльном цилиндре. При наборе колосников в решетку проверяется плотность прилегания обеих лапок их к брускам.

Таблица 1

Волокноотделительная машина	Технологические зазоры, мм			Шероховатость $Ra$ , мкм	
	в рабочей части	в верхней части	в нижней части	поверхности рабочей части	боковой поверхности
Джин пыльный	$3 \pm 0,2$	$3,8^{+1,2}$	$3,8^{+1,2}$	1,25-0,32	$0,63 \dots 0,32$
Линтер	2,5-3,0	3,0-3,5	3,5-4,75	2,5-0,63	1,25-0,63

Рабочая поверхность набранной колосниковой решетки контролируется на плоскостность, которая в рабочей части колосников должна быть в пределах  $0,6 \dots 0,8$  мм.

Длина рабочей части колосниковой решетки должна быть одинаковой и равной 30 мм, из них 15 мм выше входа зубьев пил и 15 мм ниже.

В процессе джинирования и линтерования возникает такая неисправность колосниковой решетки, как износ колосников в рабочей части. В результате изнашивания колосника уменьшается его ширина, что увеличивает регламентированный технологический зазор между колосниками до предельного значения: не более 3,2 мм для джинов и 3,0 мм для линтеров.

Изношенные колосники заменяются на новые или восстановленные. В случае расширения щели (зазора) в местах прохода зубьев пил необходимо до замены колосников опустить всю решетку так, чтобы изношенные участки оказались ниже линии выхода пил за колосники.

Правильный набор колосниковой решетки и соблюдение эксплуатационных требований по предельному значению из-

носа колосников позволит исключить попадание целых семян в отходы и волокнистую массу и увеличить срок службы колосников. Таким образом, длительное сохранение межколосникового зазора за счет обеспечения износостойкости рабочей части колосников гарантирует качественное волокноотделение в процессах джинирования и линтерования.

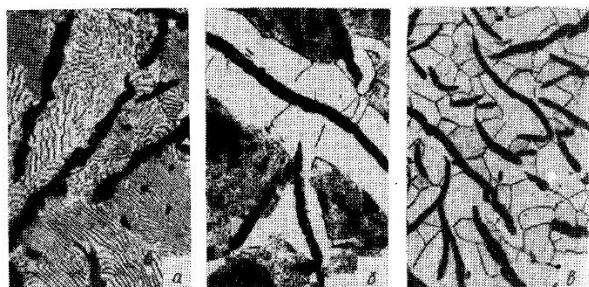
Износостойкость рабочей части колосника повышают термической обработкой. Серый чугун СЧ15, применяемый для изготовления колосников волокноотделительных машин, относится к ферритным (Ф+Графит) и ферритно-перлитным (Ф+П+Графит) чугунам, имеющим следующий примерный химический состав и механические свойства (табл. 2) [3].

Т а б л и ц а 2

Марка ферритных и ферритно-перлитных чугунов	Временное сопротивление $\sigma_b$ , МПа	Предел прочности при изгибе $\sigma_{из}$ , МПа	Состав, %				
			C	Si	Mn	P	S
СЧ10, СЧ15, СЧ18	100...180	280...320	3,5...3,7	2,0...2,6	0,5...0,8	≤0,3	≤0,15

#### Методы и материалы

Структура чугунов зависит от степени графитизации, т. е. от того, какое количество углерода, входящего в состав чугуна, находится в химически связанном состоянии ( $C_{св}$ , %) в виде цементита  $Fe_3C$ . Так, в ферритовых серых чугунах  $C_{св}=0$  и структура представляется в виде феррит + графит (Ф+Г); в ферритно-перлитных серых чугунах  $0,02 < C_{св} < 0,8\%$ ; перлитных серых  $C_{св}=0,8$  и структура – перлит + графит (П+Г). На рис. 4 представлены микрофотографии чугунов: а – перлитного, х200; б – ферритно-перлитного, х100; в – ферритного, х100.



а) б) в)  
Рис. 4

По данным [4], твердость по Бринеллю НВ, определяемая структурой металлической основы, имеет следующие средние значения:

Чугун	Ферритный	Ферритно-перлитный	Перлитный
Твердость НВ	150	200	250

Твердость мало зависит от формы графита (пластинчатый, шаровидный и др.) (рис. 5, рис. 6 (а – пластинчатый (обычный серый чугун), х100; б – шаровидный (высокопрочный чугун), х200; в – хлопьевидный (ковкий чугун), х100; г – вермикулярный, х100), однако пластичность и прочность серого чугуна в основном определяются конфигурацией графита.

Эффективность термической обработки серых чугунов с целью повышения износостойкости деталей, например, текстильных машин отмечена в работе [5], где чугун марки СЧ18 твердостью НВ 170-185 со структурой металлической основы феррит+перлит подвергали закалке объемной и ТВЧ. Для этого проводили нагрев деталей до 850...900°С, выдержку при данной

температуре и быстрое охлаждение в закалочной среде (вода или масло).

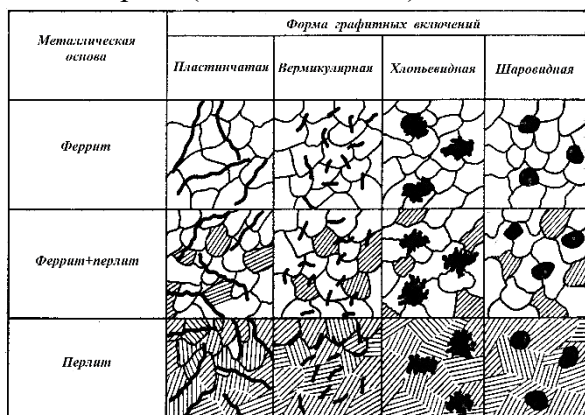


Рис. 5

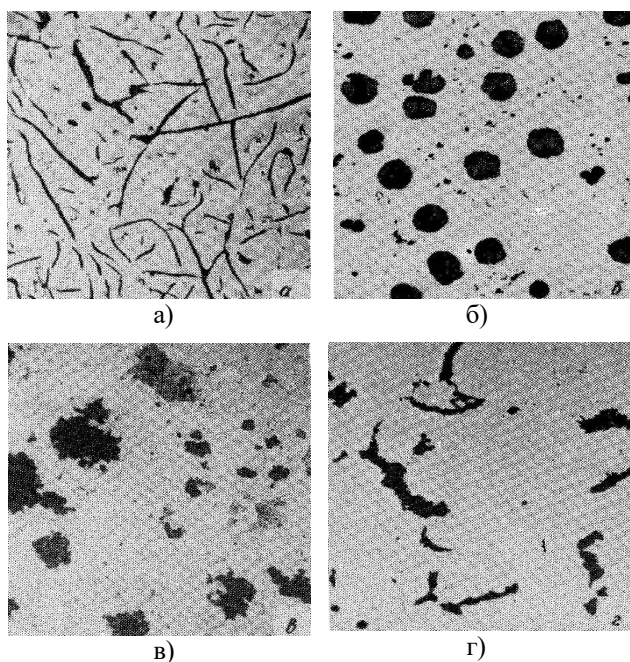


Рис. 6

При обоих способах закалки после отпуска при температуре 250...300°C металлическая основа детали приобретает структуру отпущенного мартенсита твердостью  $HV$  420-460, что превышает исходную твердость почти в 2,5 раза. Лабораторные и производственные испытания на износостойкость показали, что она возрастает от 2,5 до 4 раз для деталей текстильных машин, подвергнутых термической обработке в виде закалки.

Известен опыт [6] поверхностного упрочнения чугуновых деталей (колосников шляпок чесальных машин) текстильных машин излучением ОКГ (оптического квантового генератора) – лазера, являющегося

источником монохроматического излучения, так как их излучение имеет достаточно узкий спектральный интервал, который можно охарактеризовать одной частотой или длиной волны. При этом лазерное излучение отличается от других источников электромагнитной энергии существенной локальностью направления своего распространения вследствие проявления ряда уникальных свойств: большой интенсивности (мощности) потока электромагнитной энергии, высокой монохроматичности, значительной степени временной и пространственной когерентности [7]. В результате лазерного облучения получен эффект поверхностного упрочнения опорных поверхностей колосников шляпок чесальных машин: если твердость исходного серого чугуна марки СЧ18 с перлитно-ферритной структурой была  $HV$  262, то в зоне, упрочненной излучением ОКГ, твердость составила  $HV=666-667$ , т.е. произошло увеличение твердости в 2,5 раза [6]. Этот результат достигнут при оптимальной плотности мощности, равной около  $8 \cdot 10^4$  Вт/см<sup>2</sup>, при длительности импульса не более 6 м·с, обеспечивающей глубину упрочненного слоя до 300 мкм (эта величина соответствует предельно допустимому значению износа указанных деталей) при минимальной глубине оплавленного слоя (20...30 мкм) и без выброса оплавленного металла. Образующийся тонкий оплавленный поверхностный слой закристаллизовывается в виде мелкодисперсного ледебурита, обладающего, как и мартенсит закалки, повышенной износостойкостью. Так, достигнуто уменьшение износа в пределах 1,36...4,8 раза при понижении давления  $p$  от 5 до 1,5 МПа, создаваемого при испытании по схеме «вращающийся диск – неподвижная колодка».

В отличие от закалки ТВЧ, когда повышается уровень внутренних (остаточных) напряжений в деталях и усиливается склонность к короблению, поверхностное упрочнение излучением ОКГ имеет то преимущество, что позволяет получить упрочненный слой при минимальной глубине прогрева металла.

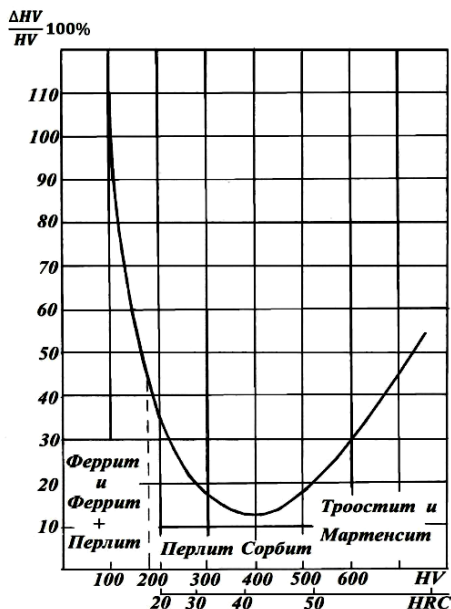


Рис. 7

Рассмотренные примеры свидетельствуют о возможностях термоупрочнения серых чугунов ферритовой и ферритно-перлитовой структуры. Анализ структуры трех видов чугуна (см. рис. 4) (перлитный, ферритно-перлитный, ферритный) позволяет заключить, что их металлическая основа подобна структуре эвтектоидной стали, доэвтектоидной стали и железа [4]. Поэтому по структуре серые чугуны отличаются от стали только тем, что в чугунах имеются графитные включения, которые определяют специфические свойства чугунов. С учетом приведенного весьма информативным являются данные [8] о способности структурных составляющих железоуглеродистых сплавов к упрочнению. Степень наклепа различных структур, оцененная по относительному приращению твердости  $(\Delta HV/HV)100\%$  и полученная при одних и тех же условиях, показана на рис. 7.

Как известно, между различными методами определения твердости существует корреляция, вполне приемлемая для практического применения. Так, по соответствующей таблице [4] перевода чисел твердости ( $HV$ ,  $HB_{3000}$ ,  $HRB$ ,  $HRC$ ) можно указать на следующее:  $HV=HB_{3000}$  в пределах от 100 до 310, начиная с  $HV320$  до  $HV480$  твердость по Бринеллю находится в интервале 319...452, при изменении твер-

дости  $HV$  от 490 до 900 твердость по Роквеллу соответствует диапазону  $HRC47,5 - HRC67,0$ . Таким образом, твердость ферритных и ферритно-перлитных чугунов, равная соответственно  $HB150$  и  $HB200$ , может быть принята как твердость по Виккерсу  $HV150$  и  $HV200$ . Это позволяет, основываясь на данных рис. 5, обоснованно подойти к характеристике степени максимального наклепа для указанных структур металла. Так, для твердости  $HB150-200$  максимальная степень наклепа  $(\Delta HV/HV)100\%$  составляет 60...45%.

В процессе динамического упрочнения поверхность образцов разогревается, так как часть механической энергии переходит в тепловую, что описывается первым началом термодинамики. В зависимости от уровня теплового воздействия может произойти интенсивное протекание фазовых превращений, которые приводят к изменению твердости. Например, повышение твердости высоколегированных марганцовистых аустенитных чугунов ( $Mn=9...12\%$ ;  $Cr=1,5...2\%$ ) связано с распадом твердого раствора аустенита с образованием мартенсита и выделением мелкодисперсных карбидов, содержащих хром и марганец [9, 10].

В соответствии с данными рис. 7 перлитные чугуны (СЧ21-СЧ35), имеющие твердость порядка  $HB300$ , проявляют способность к максимальному наклепу в пределах 15...45%. Экспериментальное исследование [10] упрочнения при ударном воздействии (боек копра из закаленной стали ШХ15 с микротвердостью 9000 МПа) на образцы из серого перлитного чугуна СЧ24 (энергия удара 7Дж, продолжительность единичного удара 0,01 с, скорость удара 1,5 м/с) показало, что с увеличением числа ударов микротвердость серого чугуна возрастала монотонно и после 10 ударов достигла 4500 МПа при исходной микротвердости 2625 МПа, т. е. превышение составило 71,4% (рис. 8: 1 – марганцовистый аустенитный чугун с содержанием марганца 12%; 2 – то же с содержанием марганца 9 %; 3 – перлитный серый чугун СЧ24).

В связи с возможностью чугунных деталей машин подвергаться значительному упрочнению методом предварительного

наклепа возникает технологическое преимущество, выраженное в том, что можно обойтись без термической обработки и без затрат легирующих элементов.

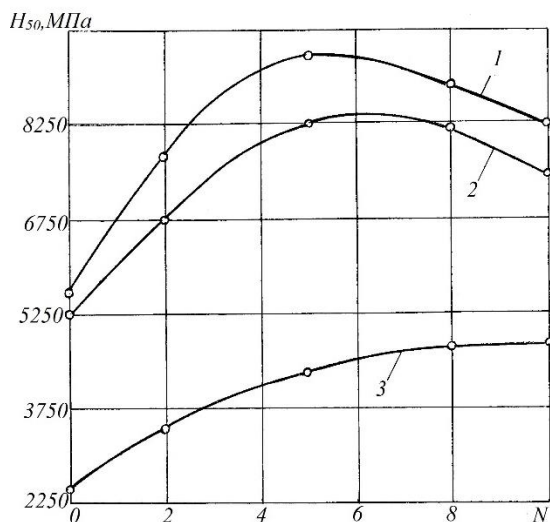


Рис. 8

Не снижая в целом значимость термической обработки для чугунов с целью придания важнейших механических свойств (пластичности) деталей машин, следует иметь в виду мнение А.П. Гуляева [4] о том, что для обычного серого чугуна термическая обработка практически применяется редко, так как она не особенно эффективна. Это объясняется тем, что пластичность и прочность обычного серого чугуна в основном определяются формой графита, которая при термической обработке у этого чугуна существенно не изменяется.

Упрочняемость серого чугуна (ферритовый и ферритно-перлитный) экспериментально подтверждена в работе [11], где показаны возможности технологии электромеханического упрочнения чугунных деталей (направляющих станин металлообрабатывающих станков) с образованием на поверхности трения регулярного рельефа с шероховатостью упрочненной поверхности, исключающей необходимость дополнительной механической обработки. Данная технология предусматривает проведение тока большой силы ( $\sim 800$  А) и низкого напряжения (до 4 В) через зону контакта упрочняющего ролика с плоской поверхностью образца, имитирующего направля-

ющие металлорежущего станка. В результате такого воздействия происходит быстрый нагрев поверхностного слоя материала при одновременной силовой нагрузке со стороны деформирующего инструментального ролика.

Образцы из серого чугуна, содержащего пластинчатый графит с начальной твердостью  $HB230$  или  $\sim HRC 23$ , после электро-механического упрочнения имели максимальное значение микротвердости  $HRC62$  (корректно было бы назвать твердость) на расстоянии 0,04 мм от поверхности образца и убывающее по глубине поверхностного слоя. Столь высокая степень максимального наклепа (в 2,7 раза) не является случайной, а вполне соответствует данным рис. 7 для структур феррита и феррит+перлит. Глубина упрочненного слоя достигает своего максимального значения при максимальной силе тока и минимальной скорости ( $v=1$  м/мин) перемещения инструмента относительно обрабатываемой детали и составляет  $h_y=0,539$  мм при усилии на ролик  $P=50$  Н.

#### Результаты и обсуждения

Для обоснования технологической возможности и реализации одного из самых эффективных методов поверхностно-пластического деформирования (ППД) – дробеударного упрочнения колосников хлопкоперерабатывающих машин [12] – необходимо опираться на обобщенный критерий оценки режимов дробеударного наклепа, в качестве которого можно принять удельную кинетическую энергию, сообщаемую дробью единице поверхности в единицу времени [8]:

$$E_{\text{уд}} = \frac{Q_d v_d}{2gS_n}, \text{ кДж}/(\text{мм}^2 \cdot \text{мин}), \quad (1)$$

где  $Q_d$  – расход дроби в единицу времени, кг/мин;  $v_d$  – скорость дроби при ее соударении с поверхностью, м/с;  $S_n$  – площадь упрочняемой поверхности,  $\text{мм}^2$ .

Тогда количество энергии, которое сообщает дробь единице поверхности за время упрочнения  $\tau$ , составит

$$E = E_{y\delta} \cdot \tau, \text{ кДж.} \quad (2)$$

Универсальность критерия  $E_{y\delta}$  состоит в том, что характеризует энергетические возможности как режимов, так и методов упрочнения. Так, величина  $E_{y\delta}$  при фиксированных параметрах обработки (скорости, расходе дроби и др.) позволяет сопоставить методы дробеударного упрочнения, а величина  $E_{y\delta}\tau$  – режимы упрочнения [8]:

1) пневмодинамическое упрочнение (ПДУ) – диаметр дроби  $D=0,8$  мм; давление среды  $p=0,4$  МПа; скорость дроби  $V=3$  м/с; удельная кинетическая энергия дроби  $E_{y\delta} = 20$  кДж/(мм<sup>2</sup>·мин);

2) упрочнение микрошариками (УМШ) – диаметр дроби  $D=0,2$  мм; скорость дроби  $V=42$  м/с; сила удара  $P=7,7$  Н; удельная кинетическая энергия дроби  $E_{y\delta} = 74$  кДж/(мм<sup>2</sup>·мин).

Как следует из условий эксперимента ударного упрочнения чугуна [9], можно

$$E_{y\delta} = 535,2 \text{ Дж}/(\text{мм}^2 \cdot \text{мин}) = 0,5352 \text{ кДж}/(\text{мм}^2 \cdot \text{мин}).$$

Расчетное значение удельной энергии соответствует единичному удару, и при совершении  $N$  ударов суммарная энергия может быть определена по формуле

$$E_{y\delta} = \frac{E_1 N}{S \tau}, \text{ кДж}/(\text{мм}^2 \cdot \text{мин}). \quad (3)$$

Таким образом, при максимальном числе ударов  $N=10$  (см. рис. 8) удельная энергия составит

$$E_{y\delta} = 5,352 \text{ кДж}/(\text{мм}^2 \cdot \text{мин}).$$

Сопоставив полученное значение удельной энергии удара для упрочнения чугуна с данными кинетической энергии дроби, развиваемой, например, при ПДУ ( $E_{y\delta}=20$  кДж/(мм<sup>2</sup>·мин)) и при упрочнении микрошариками (УМШ) ( $E_{y\delta}=74$  кДж/(мм<sup>2</sup>·мин)), можно сделать однозначный объективный вывод. Если при значении  $E_{y\delta}=5,352$  кДж/(мм<sup>2</sup>·мин)

рассчитать интенсивность энергии удара бойка по контактной поверхности чугунообразца в виде круга диаметром  $\varnothing 10$  мм. При энергии единичного удара  $E_1=7$  Дж энергия, распределения по площади  $S$  поверхности образца, составит:

$$E' = \frac{E_1}{S} = \frac{7 \cdot 4}{3,14 \cdot 10^2} = 0,0892 \frac{\text{Дж}}{\text{мм}^2},$$

а удельная энергия  $E_{y\delta}$ , учитывающая интенсивность энергии  $E'$  (распределенную по площади) за единицу времени при продолжительности контакта  $\tau = 0,01$  с, будет равна

$$E_{y\delta} = 8,92 \text{ Дж}/(\text{мм}^2 \cdot \text{с}).$$

Если удельную энергию  $E_{y\delta}$  выразить в Дж/(мм<sup>2</sup>·мин), то получим

имеет место наклеп серого чугуна (рис. 8), то при приведенных методах дробеударного упрочнения с соответствующим уровнем величин удельной энергии, безусловно, будет проявляться эффект деформационного упрочнения (повышение микротвердости) поверхностного слоя деталей [12].

Так как в соответствии с данными рис. 7 степень максимального наклепа для серого перлитного чугуна СЧ24 существенно уступает ферритному и ферритно-перлитному чугуну СЧ15, из которого изготавливают колосники волоконотделительных машин, то можно заключить, что серый чугун марки СЧ10, СЧ15 и СЧ18 более восприимчив к деформационному упрочнению (наклепу). Следовательно, дробеударная обработка, характеризующаяся высоким уровнем удельной кинетической энергии дроби, способна вызвать в тонком поверхностном слое чугунных деталей наклеп как увеличение микротвердости вследствие проявления структурно-фазовых превращений из-за разогрева кон-

тактного слоя при ударе. Так, при интенсивных режимах ударных методов обработки локальные участки поверхностных слоев нагреваются до температуры 800-1000°C [8].

Можно предположить, что силовое поле, возникающее при ударном нагружении в процессе дробеударной обработки серых чугунов в их поверхностном слое, приводит к необратимой трансформации графитовых включений пластинчатой формы. Причиной этому являются их существенно низкие по сравнению с металлической составляющей сплава механические характеристики. В результате пластинчатая форма графитовых включений в сером чугуне становится тоньше и тем самым, меньше расчленяя металлическую матрицу, способствует уменьшению нарушения сплошности сплава. Одновременно при этом можно указать на то, что если графитовые включения рассматривать как соответствующей формы пустоты (надрезы) в структуре чугуна, то при нагружении около таких дефектов концентрируются напряжения, значения которых тем больше, чем острее дефект. Однако можно предположить, что под механическим воздействием за счет силового поля острые дефекты сглаживаются, минимизируя их влияние на прочностные свойства.

Металлографическими исследованиями шлифов чугунных образцов [11] установлено, что при электромеханической обработке под воздействием обрабатывающего инструмента происходит растворение пластинчатого графита и он принимают вид мелких включений, усиливая картину упрочняющего эффекта.

Особенностью серых литейных чугунов является то, что структура металлической основы их практически не влияет на пластичность (она во всех случаях остается чрезвычайно низкой), но оказывает влияние на их твердость (микротвердость).

## ВЫВОДЫ

Эффективным методом дробеударного упрочнения является дробеструйное и упрочнение микрошариками, когда рабочее

тело в виде дроби направляется на обрабатываемую поверхность под давлением сжатого воздуха с необходимой кинетической энергией, зависящей от скорости полета и диаметра (массы) дроби. Таким образом, выполнено обоснование технологической возможности механического упрочнения чугунных деталей из СЧ15 колосников волокноотделительных машин обработкой дробью их рабочих поверхностей. Эффект механического упрочнения, выраженный в увеличении микротвердости (степени наклепа), способен повысить износостойкость колосников, являющуюся важнейшим критерием их работоспособности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Первичная переработка хлопка-сырца: учеб. пос. / под общ. ред. Э.З. Зикриёева. Ташкент: Мехнат, 1999. 400 с.
2. Юсупов А.А., Муминов М.Р., Искандарова Н.К. и др. Повышение износостойкости чугунных колосников волокноотделительных машин динамической обработкой микрошариками их рабочих поверхностей // Научно-технический журнал ФерПИ, 2024. Спец. вып. №4. С. 44...49.
3. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1990. 528 с.
4. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1986. 544 с.
5. Турчков Е.В. Повышение долговечности деталей текстильных машин, изготовленных из серых чугунов // Текстильная промышленность. 1973. №6. С. 76...77.
6. Жуков А.А., Кокора А.Н., Тимонич Д.Д. и др. Поверхностное упрочнение чугунных деталей излучением ОКГ // Физико-химическая механика материалов. 1975. №1. С. 84...88.
7. Чудина О.В., Елицкий А.В., Терентьев Е.В. Расчет прогнозируемого упрочнения стальной поверхности при лазерной обработке // Упрочняющие технологии и покрытия. 2018. Т. 14, №4. С. 168...174.
8. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: справ. М.: Машиностроение, 1987. 328 с.
9. Абраменко Ю.Е., Албагачиев А.Ю. Ударное упрочнение чугунов // Вестник машиностроения. 1988. №4. С. 46...48.
10. Гуревич Ю.Г., Овсянников В.Е., Фрелов В.А. Технология упрочнения деталей из серого чугуна // Изв. Самарского науч. центра РАН. 2011. Т. 13, №4 (3). С. 1018...1020.
11. Халимов Р.Ш. Электромеханическая обработка с образованием регулярного рельефа поверхности деталей из серого чугуна // Упрочняющие технологии и покрытия. 2014. №3. С. 57...60.

12. *Шин И.Г.* Деформационное упрочнение дробью колосников машин первичной обработки хлопка // Проблемы текстиля. 2009. №4. С. 57...60.

#### REFERENCES

1. Primary processing of raw cotton: textbook / Under the general editorship of E.Z. Zikriyev. Tashkent: Mekhnat, 1999. 400 p.

2. *Yusupov A.A., Muminov M.R., Iskandarov N.K. etc.* Increasing the wear resistance of cast iron grates of fiber separation machines by dynamic treatment of their working surfaces with microballs // Scientific and technical journal FerPI, 2024. Special issue No. 4. P. 44...49.

3. *Lakhtin Yu.M., Leontyeva V.P.* Materials Science. M.: Mechanical Engineering, 1990. 528 p.

4. *Gulyaev A.P.* Metal Science. M.: Metallurgy, 1986. 544 p.

5. *Turchkov E.V.* Increasing the durability of textile machine parts made of gray cast iron // Textile industry. 1973. No. 6. P. 76...77.

6. *Zhukov A.A., Kokora A.N., Timonich D.D. etc.* Surface hardening of cast iron parts by laser radiation // Physicochemical mechanics of materials. 1975. No. 1. P. 84...88.

7. *Chudina O.V., Yelitsky A.V., Terentyev E.V.* Calculation of predicted hardening of a steel surface during laser processing // Hardening technology and coatings. 2018. Vol. 14, No. 4. P. 168...174.

8. *Odintsov L.G.* Hardening and finishing of parts by surface plastic deformation: Handbook. M.: Mechanical Engineering, 1987. 328 p.

9. *Abramenko Yu.E., Albagachiev A.Yu.* Impact hardening of cast irons // Bulletin of Mechanical Engineering, 1988. No. 4. P. 46...48.

10. *Gurevich Yu.G., Ovsyannikov V.E., Frellov V.A.* Technology of strengthening of parts made of gray cast iron // Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2011. Vol. 13, No.4 (3). P. 1018...1020.

11. *Khalimov R.Sh.* Electromechanical processing with formation of regular surface relief of gray cast iron parts // Strengthening technologies and coatings. 2014. No. 3. P. 57...60.

12. *Shin I.G.* Deformation strengthening with shot of grate bars of primary cotton processing machines // Problems of textiles. 2009. No. 4. P. 57...60.

Рекомендована кафедрой инженерной графики и механики ТИТЛП. Поступила 17.07.24.