

## Abstract

### Inflexibility of the system machine-tool is instrument - detail at rolling of details by rollers

In the article the results of calculation of inflexibility of the technological system are represented machine-tool is instrument is detail at rolling of billows and rolling openings by rollers.

УДК 669.13.018.256

### АНАЛИЗ ПРИЧИН НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА И МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИХ КАЧЕСТВА

Скобло Т.С., д.т.н., профессор; Сидашенко А.И., д.т.н., профессор,  
Власовец В.М., к.т.н.; Бурцев С.А., аспирант

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства  
им. П.Василенко, г.Харьков, Украина*

В сельскохозяйственном машиностроении для изготовления деталей двигателей типа СМД, ЯМЗ (блок картер, седла впускных и выпускных клапанов, гильзы цилиндров, кольца компрессионные и маслосъемные, крышки коренных подшипников, маховики, коллекторы выпускные, корпуса радиаторных секций, корпуса приводов топливных насосов) широко применяют высокопрочные чугуны (ВЧ). Эти детали изготавливают методом литья.

Согласно действующему стандарту ДСТУ 3925-99 «Чугун с шаровидным графитом для отливок» эти детали должны удовлетворять ряду требований в зависимости от марки чугуна (таблицы 1, 2).

Таблица 1 – Механические свойства высокопрочного чугуна

| Марка чугуна | Механические свойства, не менее |                      |              |           |                         |                       |
|--------------|---------------------------------|----------------------|--------------|-----------|-------------------------|-----------------------|
|              | $\sigma_{\text{в}}$ , МПа       | $\sigma_{0,2}$ , МПа | $\delta$ , % | НВ        | KCU, кДж/м <sup>2</sup> |                       |
|              |                                 |                      |              |           | +20                     | -40                   |
| ВЧ 350-22    | 350                             | 230 (23)             | 22           | 140 - 170 | 190 (единичное - 160)   | 140 (единичное - 110) |
| ВЧ 400-15    | 400                             | 260                  | 15           | 140 - 202 | —                       | —                     |
| ВЧ 420-12    | 420                             | 270                  | 12           | 140 - 217 | —                       | —                     |
| ВЧ 450-10    | 450                             | 320                  | 10           | 140 - 225 | —                       | —                     |
| ВЧ 450-5     | 450                             | 310                  | 5            | 160 - 220 | —                       | —                     |
| ВЧ 500-7     | 500                             | 340                  | 7            | 153 - 245 | —                       | —                     |
| ВЧ 500-2     | 500                             | 390                  | 2            | 180 - 260 | —                       | —                     |
| ВЧ 600-3     | 600                             | 390                  | 3            | 192 - 277 | —                       | —                     |
| ВЧ 700-2     | 700                             | 420                  | 2            | 228 - 302 | —                       | —                     |
| ВЧ 800-2     | 800                             | 490                  | 2            | 248 - 351 | —                       | —                     |
| ВЧ 900-2     | 900                             | 600                  | 2            | 280 - 360 | —                       | —                     |
| ВЧ 1000-2    | 1000                            | 700                  | 2            | 270 - 360 | —                       | —                     |

Согласно техническим условиям на изготовление отливок при производстве перечисленных выше деталей чугуна должен соответствовать по химическому составу и уровню свойств марке ВЧ 500-7.

Таблица 2 – Химический состав чугуна

| Марка чугуна | Массовая доля элементов, % |           |           |     |      |      |
|--------------|----------------------------|-----------|-----------|-----|------|------|
|              | C                          | Si        | Mn        | P   | S    | Cr   |
|              |                            |           |           |     |      |      |
| ВЧ 350-22    | 2,7 – 3,8                  | 1,9 – 2,6 | 0,2 – 0,6 | 0,1 | 0,02 | 0,05 |
| ВЧ 400-15    | 3,3 – 3,8                  | 1,9 – 2,6 | 0,2 – 0,6 | 0,1 | 0,02 | 0,05 |
| ВЧ 420-12    | 3,3 – 3,8                  | 1,9 – 2,9 | 0,2 – 0,6 | 0,1 | 0,02 | 0,1  |
| ВЧ 450-10    | 3,3 – 3,8                  | 1,9 – 2,9 | 0,2 – 0,6 | 0,1 | 0,02 | 0,1  |
| ВЧ 450-5     | 3,4 – 3,8                  | 1,9 – 2,9 | 0,2 – 0,6 | 0,1 | 0,02 | 0,1  |
| ВЧ 500-7     | 3,2 – 3,4                  | 1,9 – 2,9 | 0,2 – 0,7 | 0,1 | 0,02 | 0,1  |
| ВЧ 500-2     | 3,2 – 3,6                  | 1,9 – 2,9 | 0,2 – 0,9 | 0,1 | 0,02 | 0,15 |
| ВЧ 600-3     | 3,2 – 3,6                  | 1,9 – 2,9 | 0,4 – 0,7 | 0,1 | 0,01 | 0,15 |
| ВЧ 700-2     | 3,2 – 3,6                  | 1,9 – 2,9 | 0,5 – 0,9 | 0,1 | 0,01 | 0,15 |
| ВЧ 800-2     | 3,2 – 3,6                  | 1,9 – 2,9 | 0,5 – 0,9 | 0,1 | 0,01 | 0,15 |
| ВЧ 900-2     | 3,2 – 3,6                  | 1,9 – 2,9 | 0,6 – 0,9 | 0,1 | 0,01 | 0,15 |
| ВЧ 1000-2    | 3,2 – 3,6                  | 2,3 – 2,8 | 0,6 – 0,9 | 0,1 | 0,01 | 0,15 |

Контроль свойств при производстве отливок осуществляется по твердости (см. таблица 1). Несмотря на его соответствие уровню ДСТУ 3925-99 в ряде случаев изготавливаемые детали не удовлетворяют требованиям по обрабатываемости, что может быть связано с формированием неоднородной структуры при модифицировании и отсутствием включений шаровидного графита [1, 2], что приводит к ухудшению обрабатываемости.

Целью работы являются выяснения причин отклонений в форме кристаллизующегося графита и структуры высокопрочного чугуна.

Для выяснения причины таких отклонений отобраны пробы от корпусных деталей, которые удовлетворяют требованиям стандарта по твердости 153-245НВ, но имеют разную обрабатываемость при механической обработке, в частности, сверлении.

Сопоставительными исследованиями проб отливок из высокопрочного чугуна двух предприятий, которые характеризуются различной обрабатываемостью, установлено, что они существенно отличаются по содержанию кремния, структуре металла и однородности как в распределении химических элементов, так и фазового состава. Исследованные отливки производства ОАО «НИИСЛ» содержат 3,37-3,53% Si, а отливки производства ОАО «Славтяжмаш» 2,41-2,9% Si (таблица 3).

Поскольку при модифицировании высокопрочного чугуна используют присадки кремния, то выполнили анализ его распределения. Установлено, что в отливках производства ОАО «НИИСЛ» неоднородность распределения этого элемента составляет 1,85%, а изготовленных на ОАО «Славтяжмаш» – 7,7%. Степень эвтектичности сплава производства последнего на 32% ниже.

Несмотря на близкую твердость чугуна обоих производителей (для ОАО «НИИСЛ» 188±9 НВ, а для ОАО «Славтяжмаш» 197±10 НВ), её соответствие уровню марки ВЧ 500-7, форма и распределение графита (рисунок 1) и структура металлической матрицы существенно различаются (рисунок 2).

Металлическая матрица отливок производства ОАО «НИИСЛ» характеризуется мелкими включениями графита шаровидной формы (рисунок 2,а) с незначительным количеством утолщенной пластинчатой (рисунок 2,в), расположенными в легированной ферритной матрице и наличием карбидов цементитного типа, что обеспечивает высокий уровень средней микротвердости Н-50-412.

Таблица 3 – Результаты химического анализа исследованных отливок

| № п/п | Производитель   | Концентрация элементов <sup>1</sup> , % |          |             |
|-------|---|---|----------|-------------|
|       |   | C                                       | № измер. | Si          |
| 1     | ОАО «НИИСЛ»<br>(соответствует ВЧ 500-7, удовлетворительная обрабатываемость)            | 3,53 ± 0,08                             | 1        | 3,53 ± 0,13 |
|       |   |   | 2        | 3,37 ± 0,13 |
|       |   |   | 3        | 3,42 ± 0,13 |
|       |   |   | 4        | 3,38 ± 0,13 |
|       |   |   | 5        | 3,52 ± 0,13 |
| 2     | ОАО «Славтяжмаш»<br>(не соответствует ВЧ 500-7, обрабатываемость не-удовлетворительная) | 2,95 ± 0,08                             | 1        | 2,44 ± 0,13 |
|       |   |   | 2        | 2,66 ± 0,13 |
|       |   |   | 3        | 2,62 ± 0,13 |
|       |   |   | 4        | 2,66 ± 0,13 |
|       |   |   | 5        | 2,61 ± 0,13 |
| 3     | ОАО «Славтяжмаш»<br>(не соответствует ВЧ 500-7, обрабатываемость не-удовлетворительная) | 2,95 ± 0,08                             | 1        | 2,56 ± 0,13 |
|       |   |   | 2        | 2,48 ± 0,13 |
|       |   |   | 3        | 2,41 ± 0,13 |
|       |   |   | 4        | 2,77 ± 0,13 |
|       |   |   | 5        | 2,90 ± 0,13 |

<sup>1</sup>Примечание. Концентрация элементов определялась химическим и спектральным анализами.

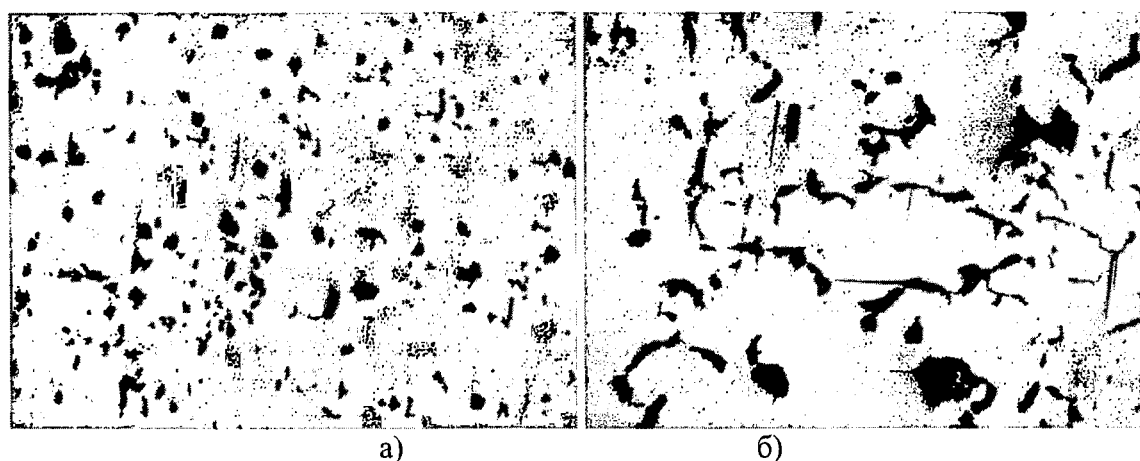


Рисунок 1 – Распределение графита в высокопрочном чугуна, ×100: а – равномерно распределенный, б – с повышенной неоднородностью

Металлическая матрица чугуна производства ОАО «Славтяжмаш» имеет структуру перлита со значительным количеством неравномерно распределенного феррита – до 25-30%. Графит преимущественно укороченной пластинчатой и в отдельных зонах грубой хлопьевидной формы (рисунок 1). Количество шаровидной формы графита незначительно 2-3%. Имеет место и неоднородность металлической матрицы. Выявлены зоны с высокой и низкой микротвердостью, соответствующие Н-50-350 и Н-50-120. Последнее значение соответствует ферриту, который расположен вблизи пластинчатых включений графита.

Контролировать качество отливок можно по коэрцитивной силе [3]. Исследованиями установлено, что отливки с хорошей обрабатываемостью имеют уровень коэрцитивной силы 1,3-2,1 А/см, а с плохой – 3,8-4,6 А/см, что связано с различной магнитной анизотропией феррита и перлита соответственно.

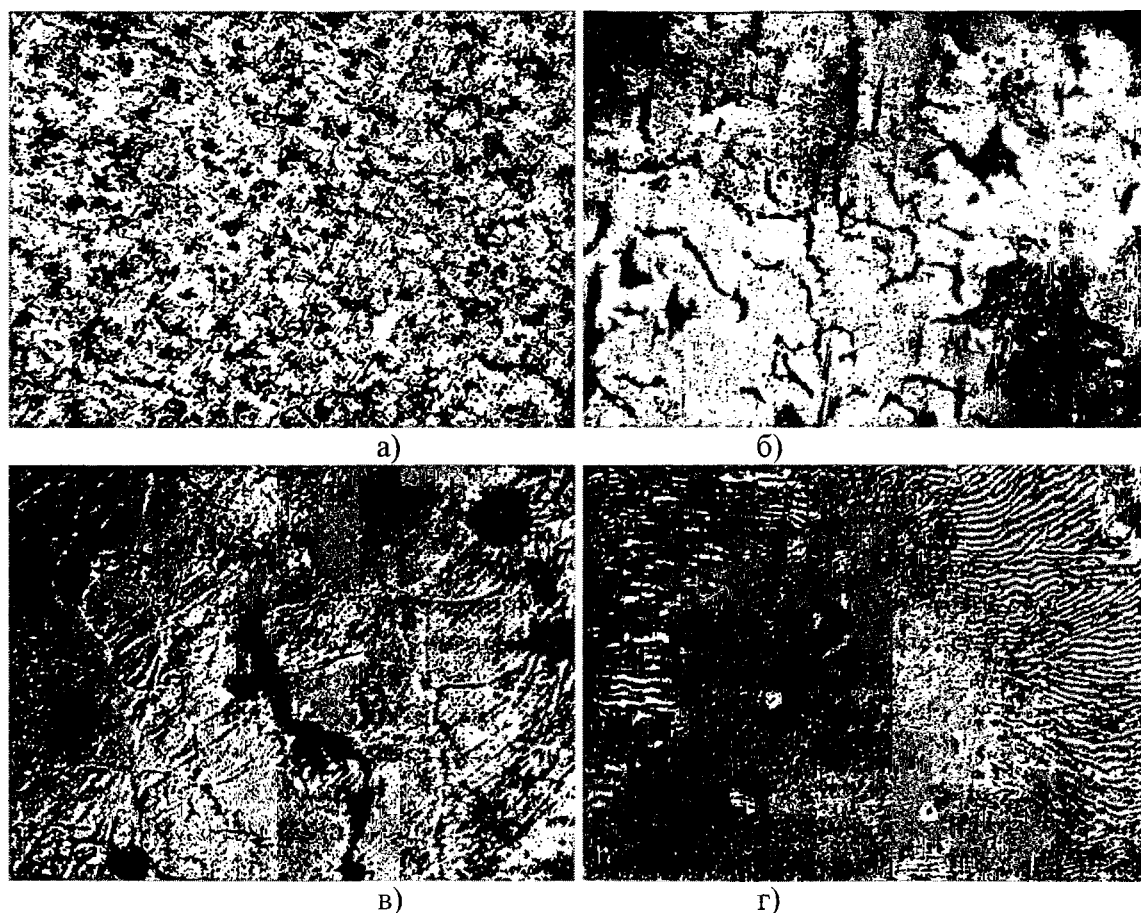


Рисунок 2 – Распределение графита в высокопрочном чугуने,  $\times 100$ : а – равномерно распределенный (ферритная матрица и отдельные скопления карбидов цементитного типа), б – с повышенной неоднородностью (перлитно-ферритная структура матрицы и преимущественно пластинчатый графит); в – структура отливок производства ОАО «НИИСЛ»  $\times 200$ ; г – структура отливок производства ОАО «Славтяжмаш»  $\times 200$

Таким образом, несмотря на близкую твердость исследованных чугунов, её уровень обеспечен различным структурным состоянием металлической матрицы. Оптимальным для данной марки чугуна является формирование ферритной матрицы с незначительным количеством карбидов цементитного типа и равномерно распределенными включениями графита шаровидной формы. При этом обеспечивается не только необходимый уровень механических свойств, но и удовлетворительная обрабатываемость при сверлении. Формирование перлитной матрицы с преимущественно пластинчатым графитом способствует некоторому повышению твердости, однако резко ухудшает обрабатываемость чугуна, а учитывая, что такая форма графита снижает трещиностойкость, то и увеличивает вероятность эксплуатационных отказов корпусных деталей.

Для обеспечения удовлетворительной обрабатываемости отливок производства ОАО «Славтяжмаш» необходимо изменить технологический процесс модифицирования и обеспечить формирование однородной структуры, кристаллизацию графита шаровидной формы, повысить степень эвтектичности сплава и однородность распределения химических элементов.

В настоящее время существует ряд модификаторов, которые совместно с магнием используются для модифицирования и содержат *Ba*, *Ca*, *Sr*. Они неоднократно доказали свою эффективность при производстве высокопрочного чугуна. Такой комплексный мо-

дификатор обеспечивает эффект модифицирования в период до 30 мин, т.е. позволяет осуществлять более длительную выдержку металла в ковше.

В последнее время появился целый ряд новых модификаторов, разнообразных по составам и способам их ввода. Например, модификатор Reseed®Inoculant являющийся сплавом на основе ферросилиция (75 %), содержащим кальций и церий. Сочетание кальция и церия в модификаторе обеспечивает образование большого количества зародышей кристаллизации графита.

Модификатор Superseed®75 - специально разработанная марка ферросилиция, имеющая следующий состав: кремний (Si) 73 – 78 %, стронций (Sr) 0,6 – 1,0%, кальций (Ca) 0,10%, алюминий (Al) 0,5%. Получил известность как эффективный модификатор для устранения эвтектических карбидов или отбела в чугунах. Подобное воздействие модификатора достигается благодаря наличию в его составе небольшого количества стронция.

Модификатор Foundrisil® 75 – это ферросилиций 75 %, содержащий оптимальное количество кальция и бария для обеспечения эффективного контроля за уровнем отбела в высокопрочном чугунах. Он особенно эффективен для обработки чугуна с низким содержанием серы, когда применение других модификаторов неэффективно.

Заслуживает внимания метод модифицирования, применяемый на Западно-Сибирском металлургическом комбинате, так называемый «МДС-процесс», обеспечивающий ведение сфероидизирующей обработки расплава без пироэффекта и дымовыделения.

Сущность «МДС» – процесса заключается в применении дисперсной магнийсодержащей модифицирующей механической смеси, состоящей из компонентов, измельченных до определенного размера. Размер частиц компонентов может быть доведен до пылевидного состояния, что на два порядка меньше размеров кусочков дробленых лигатур, используемых в настоящее время. В этом принципиальное отличие «МДС» – процесса.

Следует также отметить модификатор, разработанный Компанией НПП, который выпускается – в виде пластин, так называемых «чипсов». Суть заключается в том, что разливка модификатора производится непрерывно методом намораживания расплава на кристаллизатор. В отличие от обычного способа получения литейных модификаторов, кристаллизацией расплава в изложницах в виде слитков, «чипс» – модификаторы получают в виде пластин толщиной до 5,0 мм. При обработке чугуна такими модификаторами возникает значительно большее число микрообъемов, в которых происходит их взаимодействие с расплавом.

В результате выполненных исследований установлены причины плохой обрабатываемости корпусных деталей из высокопрочного чугуна - неоднородность химического состава, структуры и свойств, отсутствие шаровидной формы графита и наличие значительной доли перлитной матрицы в чугунах марки ВЧ 500-7. Рассмотрены направления по совершенствованию процессов модифицирования для устранения этих отклонений. Приведенные рекомендации позволяют не только повысить обрабатываемость чугуна сверлением при механической обработке в условиях ремонтных мастерских и сервисных центров, но и повысить эксплуатационные свойства деталей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бунин, К.П. Основы металлографии чугуна / Бунин К.П., Малиночка Я.Н., Таран Ю.Н. // – М.: Металлургия. – 1969. – 416 с.
2. Исследование причин структурной неоднородности сортопрокатных валков исполнений СШХН и СШХНМ, анализ методов повышения их качества / [Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Бурцев С.А. и др.] // Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов. ОТТОМ-9. - 2008. - С. 241 - 247.
3. Патент 30541 Украины “Способ контроля свойств изделий из железоуглеродистых сплавов неразрушающим магнитным методом” / [Безлюдько Г.Я., Власовец В.М., Марченко

#### **Аннотация**

#### **Анализ причин неудовлетворительной обрабатываемости корпусных деталей из высокопрочного чугуна и методы совершенствования их качества**

Установлены причины плохой обрабатываемости высокопрочного чугуна и рассмотрены направления по совершенствованию процессов модифицирования для устранения этих отклонений. Приведенные рекомендации позволят не только повысить обрабатываемость чугуна сверлением при механической обработке в условиях ремонтных мастерских и сервисных центров, но и повысить эксплуатационные свойства деталей.

#### **Abstract**

#### **Analysis of reasons of unsatisfactory workability of cabinet-type details from high-duty cast iron and methods of perfection of their quality**

Reasons of bad workability of high-duty cast iron are set considered direction on perfection of processes retrofitting for the removal of these rejections

УДК 539.3:621.81

#### **МОДЕЛЬ И МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЯХ**

**Игнатьков Д. А., д.т.н., с.н.с.**

*Белорусский государственный аграрный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь*

На основе гипотезы, впервые выдвинутой автором в работе [1] и развитой в [2-8], излагается мезофизическая модель и механизм образования остаточных напряжений при формировании тел неоднородной структуры электролитическими покрытиями, а также излагаются некоторые представления на ряд явлений, происходящих на нано-, мезо- и макроуровнях поверхностного слоя при электролитическом осаждении и анодном растворении металлов [1-8].

Гипотеза основывается на положениях современной физической нано- и мезомеханики и состоит в том, что при электролитическом осаждении металлов в движущемся поверхностном слое осаждаемого покрытия существует сильновозбужденное сдвиgoneустойчивое состояние, подобное переохлажденной жидкости (квазизидкое состояние), которое возникает вследствие сильных коллективных колебательных движений, смещений и перемещений атомов, является диссипативным и обусловлено воздействиями внешних (ударно-волновое нагружение на атомно-кристаллическом структурных уровнях в связи с перераспределением электронной плотности в моменты импульсных разрядов ионов) и внут-