

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПОКРЫТИЙ ЛИТЫХ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

*Тилабов Б.К.*

*доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» факультета энергетика и машиностроения Алмалыкского филиала Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова.*

*Хакимова М.Н.*

*студентка 4-курса кафедры «Технология машиностроения» факультета энергетика и машиностроения Алмалыкского филиала Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова.*

**Annotation.** The article discusses wear-resistant materials for cast parts of machines and mechanisms used in metallurgy and automotive agricultural machinery. Samples with a wear-resistant carbide coating obtained by casting on expanded polystyrene gasified models are presented. The chemical compositions of the studied various grades of steels are given. Tests for abrasive wear of samples before and after heat treatment with double phase recrystallization were carried out. It is shown that heat treatment with double phase recrystallization increases the wear resistance of cast samples and parts by 3-4 times compared to serial products.

**Key words:** gasified foam model, cast samples, carbide coating, heat treatment with double phase recrystallization, microstructure, hardness, abrasive wear resistance.

**Annotatsiya.** Maqolada metallurgiya va avtotraktor qishloq xo'jalik mashinasozligida ishlatiladigan mashina va mexanizmlarning quyma detallari uchun yeyilishga bardoshli materiallar ko'rib chiqilgan. Penomodeli gazga aylanuvchi penopolistirollarga quymakorlik usuli bilan olinadigan yeyilishga bardoshli, qattiq qotishma qoplamali namunalari taqdim etilgan. Har xil markali po'latlarning kimyoviy tarkibini izlanishlari keltirilgan. Namunalarga ikki marta termik ishlov berish faza qayta kristallanishdan oldin va keyingi holati bo'yicha abraziv yeyilishga sinovi o'tkazilgan. quyma namunalarni va detallarni yeyilishga bardoshlilikini ikki marta termik ishlov berish faza qayta kristallanish seriyali buyumlarga nisbatan 3-4 marta oshishi ko'rsatilgan.

**Kalitli so'zlar:** gazlanuvchi penomodel, quyma namunalari, qattiq qotishmali qoplamalar, ikki marta termik ishlov berish faza qayta kristallanish, mikrostruktura, qattiqlik, abraziv yeyilishga bardoshlilik.

**Аннотация.** В статье рассмотрены износостойкие материалы для литых деталей машин и механизмов, используемых в металлургии и автотракторосельхозмашиностроении. Представлены образцы с износостойким твердосплавным покрытием, полученным путем литья по

пенополистироловым газифицируемым моделям. Приведены химические составы исследованных различных марок сталей. Проведены испытания на абразивный износ образцов до и после термической обработки с двойной фазовой перекристаллизацией. Показано, что термическая обработка с двойной фазовой перекристаллизацией повышает износостойкость литых образцов и деталей в 3-4 раза по сравнению с серийными изделиями.

**Ключевые слова:** газифицируемая пеномодель, литые образцы, твердосплавное покрытие, термическая обработка с двойной фазовой перекристаллизацией, микроструктура, твердость, абразивная износостойкость.

**Введение.** Одной из наиболее важных задач сельскохозяйственного машиностроения являются повышение эксплуатационных свойств и качеств, а также удлинение сроков службы деталей машин и механизмов [1-3]. Это требует широкого использования прочных и износостойких материалов на основе твердого сплава типа сормайт ПГ-С27 [4], а также внедрения новых современных технологических методов, улучшающих эксплуатационные свойства и повышающих сроки службы деталей машин и механизмов.

Машины, применяемые в металлургической и автотракторосельхозмашиностроительной отрасли, выходят из строя вследствие интенсивного абразивно-коррозионного или ударно-абразивного износа основных деталей машин [5,6]. Одним из наиболее простых и результативных способов продления жизни сельхозмашин является изготовление их из износостойких твердых сплавов типа сормайт ПГ-С27 путем литья по пенополистироловым газифицируемым моделям [4].

В настоящей статье приводятся материалы по исследованию абразивной износостойкости поверхностных покрытий среднеуглеродистых и марганцовистых сталей.

Как показали исследования, сопротивление металлов абразивному износу [4,7] зависит, прежде всего, от их химического состава и механического свойства, а также оптимальной термической обработки. При этом износостойкость тесно связана с твердостью структурных составляющих и будет тем выше, чем выше их твердость и чем больше в сплаве твердых составляющих. Поэтому абразивную износостойкость сталей можно существенно повысить, легируя твердые растворы и создавая специальные карбиды  $M_7C_3$ ,  $M_{23}C_6$  и др.

Имеющиеся данные о износостойкости различных сталей [8,9] в абразивной среде недостаточны для обобщений, поэтому нам пришлось исследовать различные марки сталей, чтобы на этой основе выявить зависимость между абразивной износостойкостью стали, её химическим составом, свойствами и микроструктурой [10].

Знание таких закономерностей позволило бы обоснованно выбирать марку стали и назначать оптимальную термическую обработку для деталей машин, работающих в тяжелых условиях абразивного изнашивания.

**Методика проведения исследования.** Для исследования были выбраны следующие марки сталей: углеродистые качественные среднеуглеродистые (сталь 20, 25, 30, 35ГЛ, 40ГЛ) и марганцовистые (сталь 65Г).

Стали для исследования поставлялись в отожженном и закаленном состоянии диаметрами 70x35x15 и 70x30x15 мм.

Химический состав сталей приведен в табл.1. Из всех указанных в ней сталей изготавливались специальные образцы для испытания на абразивный износ. Для этого были выбраны образцы из углеродистой стали (20,25,30) и литые образцы из качественной среднеуглеродистой стали (35ГЛ,40ГЛ), полученные путем литья по пенополистироловым газифицируемым моделям, а также из марганцовистой стали (65Г) и подвергали различным режимам термической обработки (закалка от 900<sup>0</sup> до 1150<sup>0</sup>С) и (отпуск от 200<sup>0</sup> до 600<sup>0</sup>С).

Таблица 1

*Химический состав исследованных сталей*

Марка стали	Содержание элементов, в % (не более)						
	C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S
углеродистые стали							
20	0,17-0,24	0,17-0,37	0,35-0,65	0,25	0,25	0,040	0,040
25	0,22-0,29	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	0,25	0,040	0,040
30	0,27-0,34	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	0,25	0,040	0,040
качественные среднеуглеродистые и марганцовистые стали							
35ГЛ	0,32-0,39	0,17-0,37	0,70-0,95	0,28	0,27	0,040	0,040
40ГЛ	0,37-0,44	0,17-0,37	0,75-1,0	0,28	0,27	0,040	0,040
65Г	0,62-0,70	0,17-0,37	0,90-1,20	0,28	0,27	0,040	0,040

**Результаты исследований и их обсуждение.** Все образцы с твердосплавным покрытием до и после термической обработки с двойной фазовой перекристаллизацией были проверены на абразивную износостойкость [11-13]. Эти образцы по очередности испытывались на абразивное изнашивание на машине трения ПВ-7 [14] с незакрепленным абразивным материалом. Время испытания для каждого образца 30 мин. Для экспериментальных литых образцов с покрытием испытания повторялись 5-6 раз, а для стандартных сталей (образцов) – 6-8 раз. Твердосплавное покрытие резко увеличивает износостойкость: чем больше толщина покрытия, тем меньше величина износа [15]. Результаты испытания абразивного износа образцов из стали 20,25,30 и литого образца 35ГЛ, 40ГЛ, а также 65Г до и после термической обработки приведены в табл.2-3.

Таблица 2

*Абразивный износ углеродистых сталей*

№ п/п	Марка стали	Время испытания, мин	Износ до испытания, г	Износ после испытания, г	Разница износа до и после испытания, г
Абразивный износ углеродистой стали №01 до термической обработки					

1.	20	30	141,2263	141,2230	0,0033
2.	20	30	141,2230	141,2202	0,0028
3.	20	30	141,2202	141,2179	0,0023
4.	20	30	141,2179	141,2161	0,0018
5.	20	30	141,2161	141,2148	0,0013
6.	20	30	141,2148	141,2140	0,0008
7.	20	30	141,2140	141,2136	0,0004
8.	20	30	141,2136	141,2136	0,0000
Абразивный износ углеродистой стали №02 до термической обработки					
1.	25	30	142,2854	142,2824	0,0030
2.	25	30	142,2824	142,2800	0,0024
3.	25	30	142,2800	142,2781	0,0019
4.	25	30	142,2781	142,2767	0,0014
5.	25	30	142,2767	142,2757	0,0010
6.	25	30	142,2757	142,2750	0,0007
7.	25	30	142,2750	142,2747	0,0003
8.	25	30	142,2747	142,2747	0,0000
Абразивный износ углеродистой стали №03 до термической обработки					
1.	30	30	143,4897	143,4770	0,0027
2.	30	30	143,4770	143,4748	0,0022
3.	30	30	143,4748	143,4731	0,0017
4.	30	30	143,4731	143,4718	0,0013
5.	30	30	143,4718	143,4708	0,0010
6.	30	30	143,4708	143,4701	0,0007
7.	30	30	143,4701	143,4698	0,0003
8.	30	30	143,4698	143,4698	0,0000
Абразивный износ литого образца №1 с толщиной покрытия 2,0 мм до термической обработки					
1.	35ГЛ	30	144,4095	144,4078	0,0017
2.	35ГЛ	30	144,4078	144,4064	0,0014
3.	35ГЛ	30	144,4064	144,4054	0,0010
4.	35ГЛ	30	144,4054	144,4048	0,0006
5.	35ГЛ	30	144,4048	144,4045	0,0003
6.	35ГЛ	30	144,4045	144,4045	0,0000
Абразивный износ литого образца №2 с толщиной покрытия 2,5 мм до термической обработки					
1.	40ГЛ	30	144,5498	144,5482	0,0016
2.	40ГЛ	30	144,5482	144,5469	0,0013
3.	40ГЛ	30	144,5469	144,5459	0,0010
4.	40ГЛ	30	144,5459	144,5453	0,0006
5.	40ГЛ	30	144,5453	144,5450	0,0003
6.	40ГЛ	30	144,5450	144,5450	0,0000
Абразивный износ марганцовистой стали №04 до термической обработки					
1.	65Г	30	144,4494	144,4471	0,0023
2.	65Г	30	144,4471	144,4451	0,0022
3.	65Г	30	144,4451	144,4433	0,0018
4.	65Г	30	144,4433	144,4419	0,0014
5.	65Г	30	144,4419	144,4409	0,0010

6.	65Г	30	144,4409	144,4403	0,0006
7.	65Г	30	144,4403	144,4400	0,0003
8.	65Г	30	144,4400	144,4400	0,0000

Таблица 3

*Абразивный износ углеродистых сталей*

№ п/п	Марка стали	Время испытания, мин	Износ до испытания, г	Износ после испытания, г	Разница износа до и после испытания, г
Абразивный износ углеродистой стали №01 после термической обработки					
1.	20	30	138,6089	138,6074	0,0015
2.	20	30	138,6074	138,6062	0,0012
3.	20	30	138,6062	138,6053	0,0009
4.	20	30	138,6053	138,6047	0,0006
5.	20	30	138,6047	138,6043	0,0004
6.	20	30	138,6043	138,6041	0,0002
7.	20	30	138,6041	138,6041	0,0000
Абразивный износ углеродистой стали №02 после термической обработки					
1.	25	30	137,7394	138,7390	0,0014
2.	25	30	137,7390	138,7378	0,0011
3.	25	30	137,7378	138,7369	0,0009
4.	25	30	137,7369	138,7362	0,0007
5.	25	30	137,7362	138,7357	0,0005
6.	25	30	137,7357	138,7355	0,0002
7.	25	30	137,7355	138,7355	0,0000
Абразивный износ углеродистой стали №03 после термической обработки					
1.	30	30	136,8498	136,8486	0,0012
2.	30	30	136,8486	136,8476	0,0010
3.	30	30	136,8476	136,8468	0,0008
4.	30	30	136,8468	136,8462	0,0006
5.	30	30	136,8462	136,8458	0,0004
6.	30	30	136,8458	136,8456	0,0002
7.	30	30	136,8456	136,8456	0,0000
Абразивный износ литого образца №1 с толщиной покрытия 2,0 мм после термической обработки					
1.	35ГЛ	30	140,5387	140,5382	0,0005
2.	35ГЛ	30	140,5382	140,5379	0,0003
3.	35ГЛ	30	140,5379	140,5377	0,0002
4.	35ГЛ	30	140,5377	140,5376	0,0001
5.	35ГЛ	30	140,5376	140,5376	0,0000
Абразивный износ литого образца №2 с толщиной покрытия 2,5 мм после термической обработки					
1.	40ГЛ	30	140,5893	140,5887	0,0006
2.	40ГЛ	30	140,5887	140,5883	0,0004
3.	40ГЛ	30	140,5883	140,5881	0,0002
4.	40ГЛ	30	140,5881	140,5880	0,0001
5.	40ГЛ	30	140,5880	140,5880	0,0000
Абразивный износ марганцовистой стали №04 после термической обработки					

1.	65Г	30	140,6196	140,6186	0,0010
2.	65Г	30	140,6186	140,6178	0,0008
3.	65Г	30	140,6178	140,6172	0,0006
4.	65Г	30	140,6172	140,6168	0,0004
5.	65Г	30	140,6168	140,6166	0,0002
6.	65Г	30	140,6166	140,6166	0,0000

Как видно из табл. 2-3, проведенные нами испытания на абразивное изнашивание образцов с толщиной слоя обмазки 2,0 и 2,5 мм полностью соответствуют результатам полевых испытаний (табл.4), которые действительно повышают износостойкость литых деталей после термической обработки с двойной фазовой перекристаллизацией в три и четыре раза [16,17].

На основании выполненных исследований для проведения полевых испытаний были изготовлены четыре опытные партии деталей по 20 штук в каждой партии. Первая партия была изготовлена по серийной технологии из стали 20, вторая - из стали 35ГЛ без твердосплавных покрытий, третья - из стали 35ГЛ с износостойким твердосплавным покрытием, четвертая - из стали 35ГЛ с износостойким твердосплавным покрытием после термической обработки с двойной фазовой перекристаллизацией. Величина износа образцов определялась весовым методом, после работы культиватора в течение времени для обработки 150-230 га посевных гектаров. Также определяли относительную износостойкость образцов по сравнению с серийными деталями. Полевые испытания были проведены в различных областях (районах) Республики Узбекистан и получены почти одинаковые результаты (табл.4).

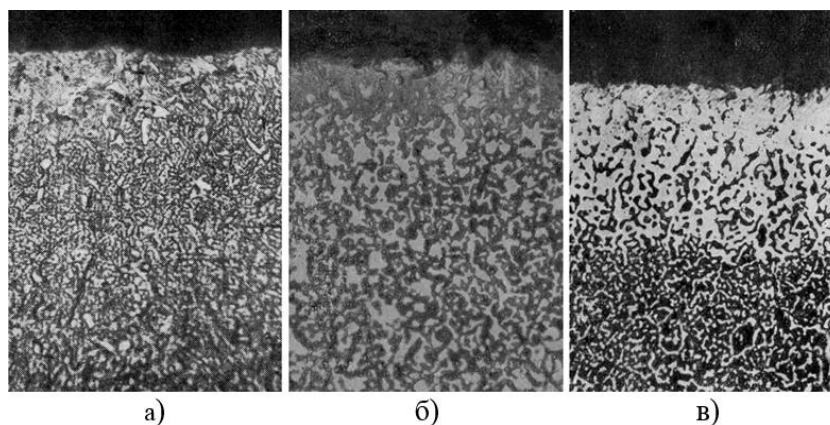
Таблица 4

*Результаты полевых испытаний*

№	Марки испытуемых деталей	Относительная износостойкость
1.	Серийная сталь 20	1,0
2.	Опытно-экспериментальная сталь 35ГЛ без покрытия	1,3
3.	Опытно-экспериментальная сталь 35ГЛ с покрытием	2,5-3,0
4.	Опытно-экспериментальная сталь 35ГЛ с покрытием после термообработки с двойной фазовой перекристаллизацией	3,5-4,0

В соответствии с поставленной задачей целью данной работы является разработка технологии получения пенополистироловых моделей и литых деталей с высокой абразивной износостойкостью. Объектом исследований были детали металлургических и почвообрабатывающих машин, таких как зубья борона, наральника, лапы культиваторов, так и роликов металлургического прокатного оборудования, испытывающих интенсивный абразивный износ при скольжении по металлу и почве.

В работе исследуется состав износостойких твердых сплавов типа сормайт ПГ-С-27. Выбор состава наносимого покрытия производился по двум критериям: 1-покрытие должно отвечать требованию 3–5-кратного увеличения износостойкости по сравнению с износостойкостью стальной основы; 2-покрытие должно включать доступные и недорогие компоненты и отличаться простотой технологией его нанесения. Исходя из этого, в качестве покрытия на рабочей поверхности детали выбрали твердые сплавы типа сормайт марки ПГ-С27. Данный твердый сплав повышает твердость и износостойкость и особенно эффективен в условиях абразивного изнашивания. При заливке металла пеномодель выгорает, а поверхность отливки насыщалась углеродом до 0,7% на глубину 0,30,6 мм. При контакте обмазки из порошков сормайта с жидким металлом происходит образование твердой корочки отливки. Затем обмазка расплавлялась и после кристаллизации на поверхности отливки формировалось износостойкое твердосплавное покрытие с толщиной слоя 2,0-2,5-3,0 мм и со структурой [4] высоколегированного сплава эвтектического и заэвтектического состава (рис.1). В результате оптимальной термической обработки поверхностный слой должен иметь структуру мелкоигольчатого мартенсита (рис.2) с мелким карбидом и изолированных участков наименьшего количества остаточного аустенита, который увеличивает твердость и износостойкость деталей машин [18].



*Рис.1. Микроструктура литых стальных образцов, полученных с износостойким твердосплавным покрытием с толщиной слоя: а-2,0 мм; б-2,5 мм; в-3,0 мм. X500*

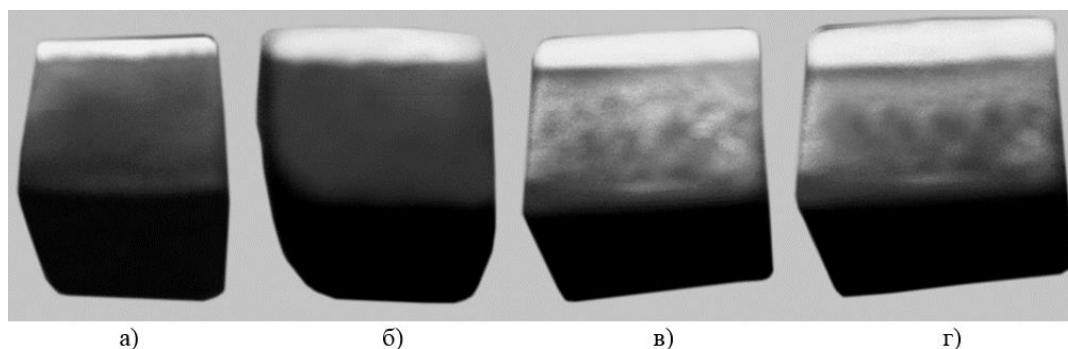
Таким образом, на рабочей поверхности формировалась многослойная композиция, состоящая из высоколегированного слоя сплава заэвтектического и эвтектического состава, переходящего по глубине в зоны заэвтектоидной и эвтектоидной стали и основного металла стали 35ГЛ. Для проверки поверхностной толщины слоя отливки взяли готовую деталь с износостойким твердосплавным покрытием, вырезали кусок шлифа для макро - и микроисследования, затем его отшлифовали и отполировали, а

потом промыли и травили специальным травителем для выявления поверхностного твердосплавного покрытия толщиной слоя обмазки от 2 до 3 мм.



*Рис.2. Микроструктура мелкоугольчатого мартенсита: а-нормальная закаленная структура X300; б-после закалки и отпуска структура мелкоугольчатого мартенсита с включениями глобулярных мелких карбидов. X500*

Более явно и визуально макроизображение поверхностных твердосплавных сормайттовых покрытий из вырезанных образцов представлено на (рис.3а,б,в,г). Твердость поверхностных слоев образцов и готовых деталей HRC58-62, а микротвердость достигает до 1800-2200 HV.



*Рис.3. Специально приготовленные стальные образцы с износостойким твердосплавным покрытием типа сормайт ПГ-С27 с толщиной слоя: а-2,0 мм; б-2,5 мм; в-3,0 мм; г-4,0 мм.*

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующие выводы: самым эффективным способом повышения абразивной износостойкости является нанесение на рабочие поверхности изделия твердосплавного покрытия при литье по газифицируемым моделям. Термообработка твердосплавного покрытия из сормайта, проведенная с двойной фазовой перекристаллизацией, формирует оптимальную структуру с высокой плотностью дислокаций, дисперсными вторичными и скоагулированными первичными карбидами. Из приведенных данных видно, что термическая обработка с двойной фазовой перекристаллизацией повышает абразивную износостойкость и долговечность литых деталей машин в 3-4 раза выше по сравнению с

серийными изделиями. Данная технология внедрена в АО «Узметкомбинат» с хорошим экономическим эффектом.

#### Библиографический список

1. Ткачев В.Н. Износ и повышение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин. – М.: Машиностроение, 1994. - 293 с.
2. Гамольская З.М., Гутерман В.М. Износостойкость сталей в условиях гидроабразивного износа. – М.: Машгиз, 1996. - 179 с.
3. Ниловский И.А. Из опыта работ по изысканию способов повышения износостойкости лемехов и других деталей сельскохозяйственных машин. - В сб.: Повышение износостойкости лемехов. – М.: Машгиз, 1998. - С.202-212.
4. Тилабов Б.К. Износостойкость наплавочного твердого сплава типа ПГ-С27 с метастабильным аустенитом и мартенситом // Республиканский межвузовский сборник научных трудов. – Ташкент. Вып.1. 2011. - С.359-362.
5. Севернев М.М. Износ деталей сельскохозяйственных машин. – Л.: Колос, 2000. - 289 с.
6. Махкамов К.Х. Ударно-абразивный износ деталей машин. – Т.: ТашГТУ, 2013. - 223 с.
7. Мухамедов А.А. Влияние параметров структуры термически обработанной стали на абразивную износостойкость // Известия ВУЗов. – Черная металлургия, 1999. №7. - С.115.
8. Меськин В.С. Основы легирования стали. – М.: Металлургиздат, 2003. - 316 с.
9. Гудремон Э.Г. Специальные стали. Т.1,2. – М.: Металлургиздат, 2005. - 237 с.
10. Тилабов Б.К., Мухамедов А.А. Микроструктура и механические свойства литых металлокомпозиционных материалов и их применение в машиностроении // Материалы научно-технической конференции с участием зарубежных ученых. ГУП, «Фан ва тараққийёт» 27-27 июня 2008 г. – Ташкент, 2008. - С.101-103.
11. Mukhamedov A.A. The influence of thermal pistory on the structure and properties of steel // the physics of Metals and Metallography. – Moskov. Vol. 74. №5. 1998. - P.482-487.
12. Мухамедов А.А. Влияние термической предыстории на структуру и свойства стали // Физика металлов и металловедение. – Екатеринбург, 2002. №11. - С.92-99.
13. Тилабов Б.К. Основы теории и технологии нового перспективного процесса получения литых деталей машин с износостойким твердосплавным покрытием путем литья по газифицируемым моделям. Монография. – Т.: «Fan va texnologiya», 2015. - 167 с.

14. Тененбаум М.М. Сопротивление абразивному изнашиванию. – М.: Машиностроение, 1999. - 267 с.
15. Tilabov B.K. Wear resistance of constructional materials and structure of the built-up firm alloys // Science, Technology and Higher Education. Materials of the X International research and practice Conference. April 28-29, 2016. Westwood. – Canada, 2016. - P.180-187.
16. Tilabov B.K. Increased durability of iron parts by thermal treatment with double phase recrystallization. European applied sciences // Europäische Fachhochschule. ORT Publishing. – Germaniya, 2015. #8. - P.49-53.
17. Мухамедов А.А. Повышение износостойкости деталей почвообрабатывающих машин термообработкой // Композиционные материалы. – Ташкент, 2006. №3. - С.73-77.
18. Tilabov B.K. Increase the service life of cast parts tillihg machines // International Conference «Global Science and Innovation» March 23-24, 2016. – USA. Chicago, 2016. - P.222-225.