

УДК 621.762

DOI: 10.30987/article\_5bd17b40240fd6.04527323

К.В. Марусич, М.М. Шабаев

## ТЕРМИЧЕСКОЕ УПРОЧНЕНИЕ ВОЛОЧИЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА ИЗ ТВЁРДОГО СПЛАВА

Приведены результаты исследования, характеризующие влияние режимов термической обработки в соляных печах-ваннах на эксплуатационные характеристики волочильного инструмента из твёрдого сплава ВК8.

**Ключевые слова:** волокна, твердый сплав, износ, твёрдость, термическая обработка, волочильный стан.

K. V. Marusich, M. M. Shabaev

## THERMODYNAMIC STRENGTHENING OF HARD ALLOY DRAWING TOOL

One of the reasons of hard alloy drawing tool failure consists in microcracks. Material strengthening could contribute considerably to labour productivity increase and decrease in need for this expensive tool. The aim of this investigation was to determine optimum modes of thermal treatment for plates made of hard alloy TC8 (tungsten-cobalt). Thermal strengthening was carried out in salt bath-ovens on six different

modes. After that there was carried out an analysis of samples with the use of laboratory equipment. The investigation results have shown hardness increase twice as high, tensile strength increase by 1.5-2 times and abrasive wear decrease by times.

**Key words:** drawing die, hard alloy, wear, hardness, thermal treatment, drawbench.

### Введение

Одной из причин выхода из строя твердосплавного инструмента является наличие в нём микротрещин. Наиболее распространёнными дефектами являются [1-3]: трещины; выкрашивание выходной распушки; раскол твердосплавной вставки; полный или частичный выход твердосплавной вставки; грубая выработка твёрдого сплава в виде бороздок; грубое кольцо износа; односторонняя выработка и т.д.

В настоящее время развитие получили следующие методы повышения стойкости инструмента: применение новых и усовершенствованных инструментальных материалов, улучшение качества рабочих поверхностей, усовершенствование конструкции и оптимизация геометрических параметров инструмента.

Термической обработке твёрдых сплавов посвящен ряд работ, результаты

которых во многом противоречивы [4; 5]. В этих работах делались попытки проведения различных видов термической обработки как спеченных твёрдых сплавов, так и при изменении условий охлаждения в процессе спекания. Термическая обработка спеченных сплавов проводится в большинстве случаев по двум направлениям: нагрев до температуры от 800 до 1250 °С с последующим охлаждением в различных средах; отжиг (или отпуск) при температуре от 600 до 1250 °С в течение нескольких часов. При этом в сплаве добиваются структурных превращений, а применение отпуска способствует снижению термических напряжений, но повышение прочностных характеристик достигается не во всех случаях.

### Постановка задачи исследования

Процесс волочения заключается в протягивании проволоки, трубы или других профилей через отверстие волокна, имеющее несколько меньшее сечение, чем

исходная заготовка изделия. При волочении в бунтах металл протягивают сквозь волоку и сматывают на приёмный барабан или шайбу. Волочильные машины класси-

фицируют по принципу волочения, расположению тянущих шайб, числу волок, системам управления и числу одновременно протягиваемых проволок [6].

Наибольшее распространение получили барабанные волочильные станы (рис. 1). Основными узлами стана являются барабан 1 (для размещения материала, подлежащего волочению), обойма с волокой 2, захват 5, тянущий барабан 3, редуктор 4 и электродвигатель. Повышение скорости волочения означает повышение производительности станков. Однако существуют границы повышения скорости волочения. Они носят технический (динамические на-

грузки), технологический (царапины, прочность швов) и теплотехнический (повышение температуры, возможность охлаждения) характер. Промышленность также выпускает многобарабанные волочильные станы, в которых перед каждым из барабанов стоит волока. Скорость вращения каждого последующего барабана выше, чем у предыдущего, так как при волочении происходит удлинение. Наиболее изнашиваемой деталью волочильного стана является волока [7]. Деформация происходит в относительно коротком очаге длиной  $L$ .

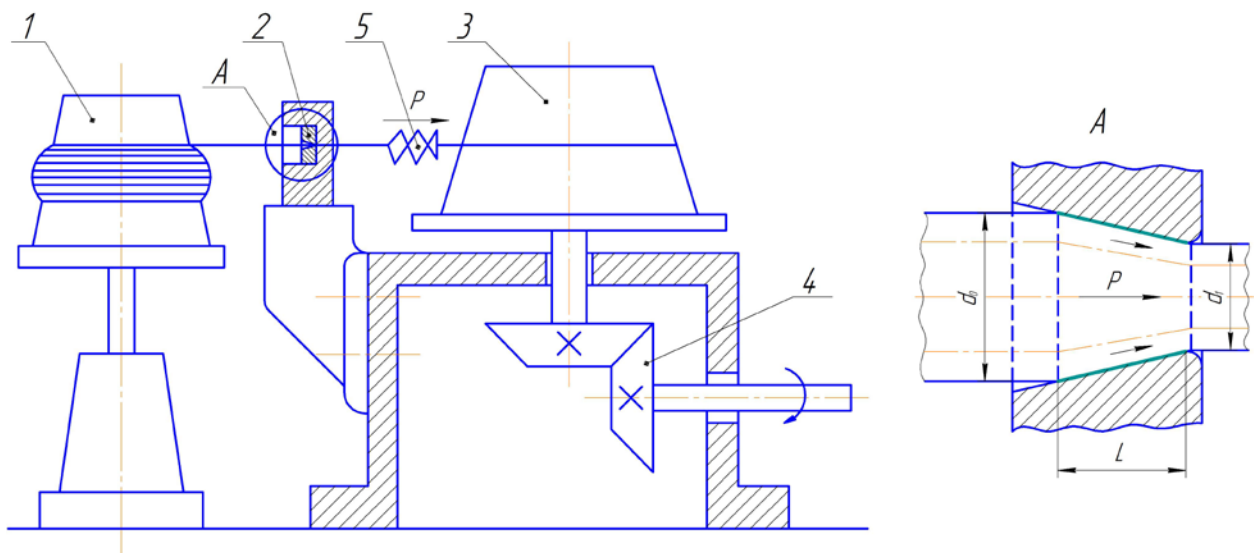


Рис. 1. Принципиальная схема процесса волочения на волочильном стане

Повышение износостойкости волок из твердого сплава во многом могло бы способствовать повышению производительности труда и снижению потребности в этом дорогостоящем инструменте [8; 9].

### Экспериментальное исследование

В связи с трудностью проведения экспериментальных работ на цельных волоках в качестве образцов использовались четырехгранные пластины размером  $15 \times 15 \times 5$  мм производства Кировоградского завода твердых сплавов (ГОСТ 25395-90).

Предварительно с помощью микровизора  $\mu$ Vizo-MET-221 была исследована микроструктура пластин из твердого спла-

ва ВК8 без термической обработки. Целью и задачей данного экспериментального исследования являлось нахождение оптимальных режимов термической обработки волочильного инструмента из твердого сплава ВК8.

ва ВК8 без термической обработки. Размер зерна карбидов вольфрама для исходного образца составил 5 мкм.

Термическая обработка проводилась в соляных печах-ваннах. На основании литературных данных [10] и опыта экспериментальных работ в Оренбургском государственном университете были предложены режимы термической обработки (табл. 1).

Таблица 1

## Режимы термической обработки в соляных печах-ваннах

№ режима	Условия проведения термической обработки
1	Нагрев под закалку - 1250 °С, среда охлаждения - масло, отпуск - 500 °С
2	Нагрев под закалку - 1250 °С, среда охлаждения - воздух, отпуск - 200 °С
3	Нагрев под закалку - 1050 °С, среда охлаждения - масло, отпуск - 500 °С
4	Нагрев под закалку - 1050 °С, среда охлаждения - воздух, отпуск - 200 °С
5	Нагрев под закалку - 1150 °С, среда охлаждения - воздух, отпуск - 350 °С
6	Нагрев под закалку - 1150 °С, среда охлаждения - масло, отпуск - 350 °С
0	Без термической обработки (исходный)

На разрывной электромеханической машине ИР 5047-50 провели испытание на изгиб, после которого был определен предел прочности твердого сплава до и после

термической обработки. В табл. 2 представлены следующие характеристики: твёрдость, нагрузка и предел прочности.

Таблица 2

## Предел прочности твердого сплава ВК8 до и после термической обработки

№ режима	Твердость по Виккерсу HV	Нагрузка P, Н	Предел прочности при изгибе $G_{изг}$ , Н/мм <sup>2</sup>
1	1580	237	1600
2	1500	199	1550
3	1380	173	1300
4	1320	127	1250
5	1440	172	1500
6	1400	159	1450
0	1220	134	1100

После термообработки была исследована микроструктура образцов (рис. 2). Анализ микроструктуры твердого сплава ВК8 после различных режимов термической обработки показал наличие двух фаз: карбида вольфрама и кобальта. Размер зерна карбидов вольфрама уменьшается с 5 до 3,9 мкм. Также проведенный анализ излома твёрдого сплава показал наличие хрупкого излома у термически обработанного сплава и появление незначительного ямочного рельефа по кобальтовой связке.

Далее было проведено исследование влияния термической обработки твердого сплава на абразивный износ. Для определения абразивной износостойкости по массе была сконструирована машина для ис-

пытания на износостойкость при трении твердосплавных образцов. Испытания осуществляли по следующему принципу: предварительно взвешенный образец закрепляли в державке, прижимаемой рычагом к поверхности алмазного круга, который приводился в движение электродвигателем. Диаметр чашечного алмазного круга составляет 100 мм, а частота его вращения - 2750 об/мин. Продолжительность испытаний составляла 9 мин на каждый образец. Замеры веса проводились через каждые 3 мин при остановке машины. Для снятия замеров использовали лабораторные весы ВМ510Д. Результаты исследований на весовой и линейный износ представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

## Результаты исследований на весовой износ

№	Масса образца, г				Износ, г		
	$m_0$	$m_3$	$m_6$	$m_9$	$\Delta m_3$	$\Delta m_6$	$\Delta m_9$
1	3,298	3,293	3,288	3,275	0,005	0,01	0,023
2	3,298	3,292	3,282	3,27	0,006	0,016	0,028
3	2,458	2,451	2,449	2,447	0,007	0,009	0,011
4	1,956	1,953	1,947	1,943	0,003	0,009	0,013
5	2,807	2,803	2,801	2,798	0,004	0,006	0,009
6	3,935	3,924	3,917	3,914	0,011	0,021	0,006
0	5,836	5,818	5,808	5,797	0,018	0,028	0,039

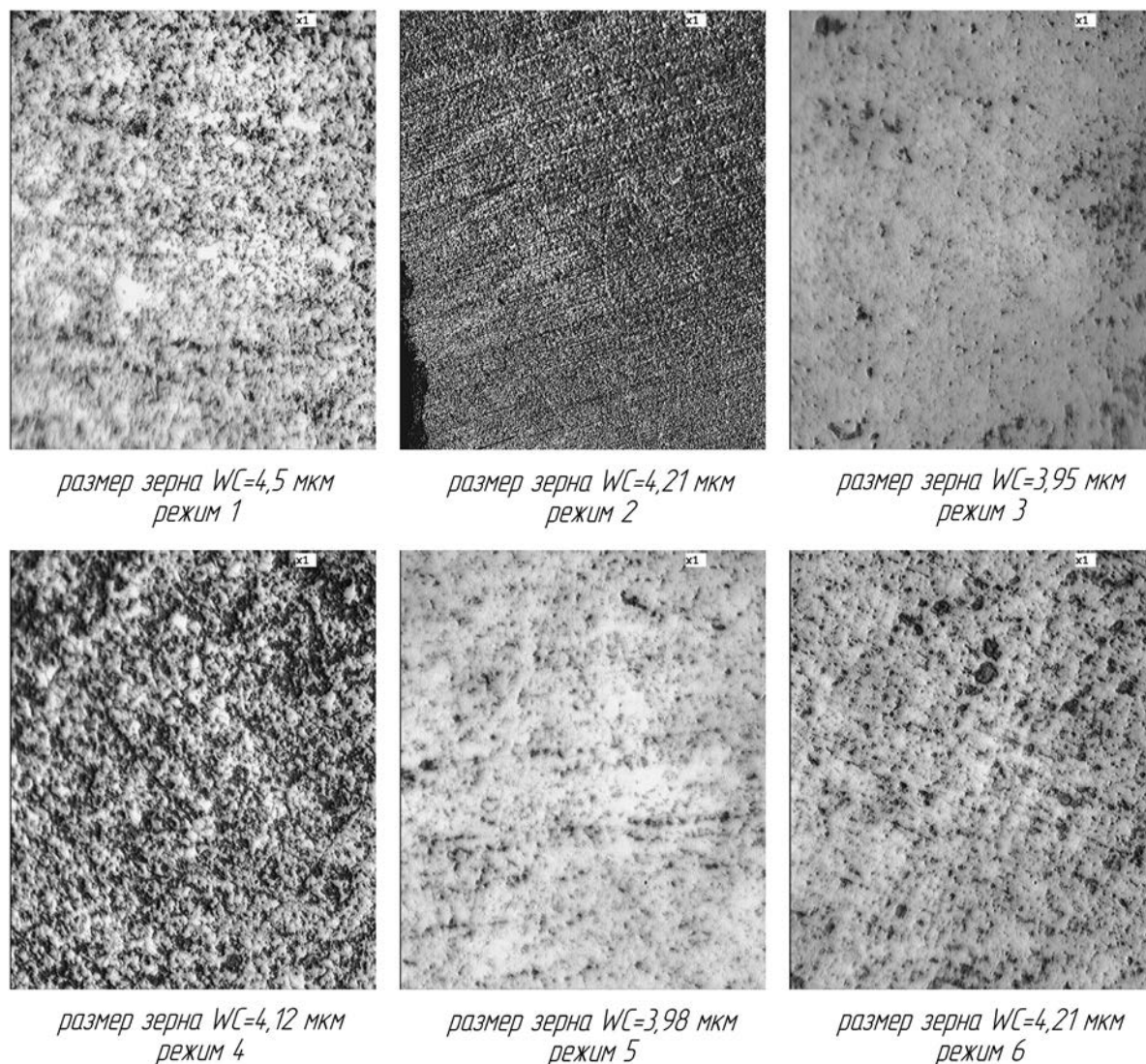


Рис. 2. Микроструктура твёрдого сплава VK8 после различных режимов термической обработки

Таблица 4

## Результаты исследований на линейный износ

№	Размеры образца, мм			$S = b \times h$ , мм <sup>2</sup>	$\frac{\Delta m_3}{S} \times 10^{-4}$ , г/мм <sup>2</sup>	$\frac{\Delta m_6}{S} \times 10^{-4}$ , г/мм <sup>2</sup>	$\frac{\Delta m_9}{S} \times 10^{-4}$ , г/мм <sup>2</sup>
	$b$	$h$	$l$				
1	15	15	5	225	0,22	0,44	1,02
2					0,27	0,7	1,24
3					0,31	0,4	0,49
4					0,13	0,4	0,58
5					0,18	0,27	0,4
6					0,49	0,93	0,27
0					0,8	1,24	1,73

Из результатов экспериментального исследования видно, что у образцов, подвергнутых термической обработке, прочностные характеристики увеличились в два раза по сравнению с исходным образцом.

Следующим этапом экспериментального исследования являлось составление матрицы планирования эксперимента  $2^{4-1}$ . Термообработку проводили согласно матрице планирования эксперимента (табл. 5). Температура нагрева под закалку варьиро-

валась: основной уровень - 1150 °С, интервал варьирования  $\pm 100$  (фактор влияния  $X_1$ ). Закалка проводилась в масле И20 или на воздухе (фактор влияния  $X_2$ ). Отпуск: основной уровень - 350 °С, интервал варьирования -  $\pm 150$ , время отпуска - 15 мин (фактор влияния  $X_3$ ).

После проверки значимости коэффициентов в уравнениях регрессии по критерию Кохрена было получено уравнение зависимости твёрдости от режимов термической обработки:

$$Y_{HV} = 1427 + 225X_1 + 105X_2 + 105X_3.$$

Анализ уравнения показывает, что твёрдость повышается с увеличением температуры под закалку и снижением температуры отпуска.

Проведение термической обработки твёрдого сплава ВК8 в соляных печах-ваннах привело к увеличению прочностных свойств на 30-40 % и уменьшению износа при абразивных испытаниях до 2 раз.

Таблица 5

Матрица планирования эксперимента

Факторы	Температура нагрева под закалку $T_{из}$ , °С	Скорость охлаждения, °С/с	Температура отпуска $T_{отп}$ , °С	Параметры оптимизации		
				Твердость, Н/мм <sup>2</sup>	Предел прочности при изгибе $G_{изг}$ , Н/мм <sup>2</sup>	Абразивный износ, $\times 10^{-4}$ г/мм <sup>2</sup>
Основной уровень (0)	1150	воздух	350	Твердость, Н/мм <sup>2</sup>	Предел прочности при изгибе $G_{изг}$ , Н/мм <sup>2</sup>	Абразивный износ, $\times 10^{-4}$ г/мм <sup>2</sup>
Предел варьирования	100	масло 40 - 60 °С	150			
Верхний уровень (+)	1250		500			
Нижний уровень(-)	1050	воздух	200			
Код	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$
Опыт №1	+	+	+	1580	1600	1,02
Опыт №2	+	-	-	1500	1550	1,24
Опыт №3	-	+	+	1380	1300	0,49
Опыт №4	-	-	-	1320	1250	0,58
Основной уровень	1150	воздух	350	1440	1500	0,4
Опыт №6	1150	масло	350	1400	1450	0,27
Исходный				1220	1100	1,73

### Заключение

Проведённое термическое упрочнение волоочильного инструмента из твёрдого сплава ВК8 в соляных печах-ваннах показало:

- повышение твёрдости в 2 раза;
- увеличение предела прочности при изгибе в 1,5 - 2 раза;
- уменьшение абразивного износа в 2 раза;

- уменьшение размера карбидов вольфрама (WC) твёрдого сплава с 5 до 3,9 мкм;

- наличие хрупкого излома у термически обработанного сплава и появление незначительного ямочного рельефа по кобальтовой связке.

Увеличение эксплуатационных характеристик твёрдого сплава ВК8 в 2 - 3 раза указывает на эффективность термической обработки в соляных печах-ваннах.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сачава, Д.Г. Классификация, причины возникновения, способы предотвращения износа и разрушения волоочильного инструмента / Д.Г. Сачава,

И.П. Лазебникова // Литье и металлургия. - 2006. - № 4 (40). - С. 6-8.

2. Куренкова, Т.П. Определение возможных причин образования дефекта «точечное выкраши-

вание» в твердосплавном волочильном инструменте в процессе волочения / Т.П. Куренкова, И.П. Лазебникова, Т.Н. Липаткина // *Литье и металлургия*. - 2011. - № 3 (62). - С. 80-83.

3. Rubio, E.M. Calculation of the forward tension in drawing processes / E.M. Rubio, A.M. Camacho, L. Sevilla, M.A. Sebastian // *Journal of Materials Processing Technology*. - 2005. - № 162-163. - P. 551-557.
  4. Богодухов, С.И. Упрочнение твердых сплавов (обзор) / С.И. Богодухов, Е.С. Козик, Е.В. Сви-денко // *Упрочняющие технологии и покрытия*. - 2015. - № 11 (131). - С. 3-11.
  5. Гурьев, А.М. Химико-термическая обработка материалов для режущего инструмента / А.М. Гурьев, С.Г. Иванов, М.А. Гурьев, Е.В. Черных, Т.Г. Иванова // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. - 2015. - № 8 (58). - С. 578-582.
  6. Радионова, Л.В. Современное состояние и перспективы развития волочильного производства стальной проволоки / Л.В. Радионова, А.А. Ра-
1. Sachava, D.G. Classification, reasons and causes, ways to prevent wear and destruction of drawing tool / D.G. Sachava, I.P. Lazebnikova // *Casting and Metallurgy*. - 2006. - No.4 (40). - pp. 6-8.
  2. Kurenkova, T.P. Definition of possible reasons in "point spalling" defect formation in hard alloy drawing tool during drawing / T.P. Kurenkova, I.P. Lazebnikova, T.N. Lipatkina // *Casting and Metallurgy*. - 2011. - No.3 (62). - pp. 80-82.
  3. Rubio, E.M. Calculation of the forward tension in drawing processes / E.M. Rubio, A.M. Camacho, L. Sevilla, M.A. Sebastian // *Journal of Materials Processing Technology*. - 2005. - № 162-163. - P. 551-557.
  4. Bogodukhov, S.I. Hard Alloy Strengthening (review) / S.I. Bogodukhov, E.S. Kozik, E.V. Svidenko // *Strengthening Technologies and Coatings*. - 2015. - No.11 (131). - pp. 3 - 11.
  5. Guriev, A.M. Chemical thermal treatment of materials for cutters / A.M. Guriev, S.G. Ivanov, M.A. Guriev, E.V. Chernykh, T.G. Ivanova // *College Proceedings. Ferrous Metallurgy*. - 2015. - No.8 (58). - pp. 578-582.

дионов // *Машиностроение: сетевой электрон. науч. журн.* - 2013. - № 1. - С. 3-11. - URL: <http://indust-engineering.ru/issues/2013/2013-1.pdf> (дата обращения: 20.06.2018).

7. Гурьянов, Г.Н. Факторы усталостного износа рабочего канала волочильного инструмента / Г.Н. Гурьянов // *Механическое оборудование металлургических заводов*. - 2013. - № 2. - С. 44-52.
  8. Желтков, А.С. Современные технологии изготовления твердосплавных волок / А.С. Желтков // *Металлоснабжение и сбыт*. - 2013. - № 10. - С. 22-28.
  9. Колмогоров, Г.Л. Оптимальная геометрия технологического волочильного инструмента / Г.Л. Колмогоров, Т.В. Чернова, Е.М. Аверьянова, М.В. Снигирева // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. - 2013. - № 7. - С. 51-53.
  10. Богодухов, С.И. *Материаловедение: учеб. пособие* / С.И. Богодухов, Е.С. Козик. - М.: Машиностроение, 2015. - 504 с.
6. Radionova, L.V. Current state and outlooks of steel wire development in drawing production / L.V. Radionova, A.A. Radionov // *Mechanical Engineering: network electronic scientific journal*. - 2013. - No.1. - pp. 3-11. - URL: <http://indust-engineering.ru/issues/2013/2013-1.pdf> (address date: 20.06.2018).
  7. Guriyanov, G.N. Factors of working channel fatigue wear in drawing tool / G.N. Guriyanov // *Engineering of Metallurgical Works*. - 2013. - No.2. - pp. 44-52.
  8. Zheltkov, A.S. Modern technologies in manufacturing hard alloy drawing dies / A.S. Zheltkov // *Metal Supply and Sale*. - 2013. - No.13. - pp. 22-28.
  9. Kolmogorov, G.L. Optimal geometry of technological drawing tool / G.L. Kolmogorov, T.V. Chernova, E.M. Averiyanova, M.V. Snigiryova // *College Proceedings. Ferrous Metallurgy*. - 2013. - No.7. - pp. 51-53.
  10. Bogodukhov, S.I. *Material science: manual* / S.I. Bogodukhov, E.S. Kozik. - M.: *Mechanical Engineering*, 2015. - pp. 504.

Статья поступила в редакцию 6.07.18.

Рецензент: д.т.н., профессор Комсомольского-на-Амуре государственного университета  
Щетинин В.С.

Статья принята к публикации 14.08.18.

#### Сведения об авторах:

**Марусич Константин Викторович**, к.т.н., доцент Оренбургского государственного университета, e-mail: [mkv82@mail.ru](mailto:mkv82@mail.ru).

**Marusich Konstantin Victorovich**, Can. Sc. Tech., Assistant Prof., Orenburg State University, e-mail: [mkv82@mail.ru](mailto:mkv82@mail.ru).

**Шабаев Максим Миратович**, магистрант Оренбургского государственного университета, e-mail: [juzt@inbox.ru](mailto:juzt@inbox.ru).

**Shabaev Maxim Miratovich**, Master degree student, Orenburg State University, e-mail: [juzt@inbox.ru](mailto:juzt@inbox.ru).