

УДК 620.10

doi: 10.18698/0536-1044-2023-12-73-79

Влияние режимов термообработки и ионного азотирования на прочностные свойства быстрорежущих сталей

Б.В. Букеткин, К.Б. Даниленко

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Heat treatment and ion nitriding modes influence on strength properties of the high-speed steels

B.V. Buketkin, K.B. Danilenko

Bauman Moscow State Technical University

Приведены результаты исследования механических свойств быстрорежущих сталей Р6М5, Р6М5К5, Р9М4К8 и Р8М3К6С, подвергнутых термической обработке по четырем вариантам режимов. Определены удельная ударная вязкость, пределы прочности и текучести при растяжении, сжатии, изгибе и кручении. Для каждой марки быстрорежущей стали выявлена твердость образцов, обеспечивающая им наилучшие прочностные характеристики. Проведены механические испытания образцов из быстрорежущих сталей, подвергнутых ионному азотированию. Даны рекомендации по выбору оптимального сочетания режимов термической обработки и ионного азотирования для некоторых быстрорежущих сталей.

Ключевые слова: быстрорежущая сталь, термическая обработка, прочностная характеристика, ударная вязкость, предел прочности, ионное азотирование

The paper presents results of studying mechanical properties of the R6M5, R6M5K5, R9M4K8 and R8M3K6S high-speed steels subjected to heat treatment in four modes. Specific impact strength, strength and yield limits in tension, compression, bending and torsion were determined. For each grade of the high-speed steel, the samples hardness was identified, where highest values of the strength characteristics were ensured. Mechanical tests were carried out on samples made of high-speed steels subjected to ion nitriding. Recommendations are provided in selecting the optimal combination of the heat treatment and nitriding modes for certain high-speed steels.

Keywords: high-speed steel, heat treatment, strength characteristic, impact strength, stress limit, ion nitriding

Физико-механические свойства быстрорежущей стали (БС) оказывают значительное влияние на обрабатываемую деталь и режущий инструмент (РИ). К важнейшим режущим свойствам РИ относятся стойкость, к механическим — прочность при сжатии, изгибе и кручении, т. е. при тех видах нагружения, которым РИ подвержен в наибольшей степени. Для повышения указанных свойств применяют различные приемы воздействия на структуру материала РИ, в том числе

термическую обработку (ТО) и ионное азотирование (ИА).

Цель работы — экспериментальное исследование различных марок БС, подвергнутых различным режимам ТО и ИА, и выбор их оптимального сочетания для повышения режущих и механических свойств РИ.

Полного решения вопроса сочетания режимов до сих пор не получено [1]. В связи с этим результаты проведенного исследования, най-

денные закономерности и вытекающие из них выводы могут оказаться полезными инженерам-технологам, стремящимся достичь наилучших эксплуатационных свойств РИ.

Основная часть. Эксплуатационные свойства РИ в значительной степени определяются физико-механическими характеристиками инструментального материала. Основные свойства БС существенно зависят от режимов ТО, выбор последних — от химического состава БС, предполагаемых условий работы РИ и других факторов.

Даже незначительные изменения режимов ТО могут привести к существенным изменениям механических характеристик материала РИ, в частности соотношения твердости и прочности. Оптимальное сочетание этих важных параметров для многих марок БС выявлено не полностью [2, 3].

Исследования прочностных характеристик четырех марок БС, подвергнутых различной ТО, проводили в лаборатории кафедры «Прикладная механика» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Определяли ударную вязкость, предел прочно-

сти при растяжении и сжатии, а также предел текучести образцов [4, 5].

Образцы изготавливали из прутков круглого поперечного сечения диаметром 14 мм с карбидной неоднородностью 3-го балла. Значения температуры закалки образцов для четырех различных режимов ТО приведены в табл. 1. Там же указаны значения твердости образцов, измеренные твердомером АТ200DR фирмы Ernst (Швейцария).

Режимы нагрева под закалку I и II позволяли получать зерно аустенита № 11, а режимы III и IV — зерно № 10. Для исключения обезуглероживания материала образцов нагрев под закалку выполняли в соляных ваннах.

Для режимов I и III в качестве охлаждающей среды использовали масло при температуре 20 °С, для режимов II и IV — расплавленную соль при температуре 625 °С. При всех режимах образцы выдерживали в закалочной среде в течение 4,5 мин, а затем охлаждали на воздухе. После закалки образцы подвергали трехкратному отпуску при температуре 560 °С с выдержкой по одному часу [6, 7].

Испытания образцов на ударную вязкость выполняли согласно ГОСТ 9454–78 с применением копра 2010КМ30. Так как закаленные БС имеют повышенную хрупкость, использовали гладкие образцы без концентратора.

Испытания образцов на сжатие проводили согласно ГОСТ 25.503–97 в специальном приспособлении между нажимными плитками из твердого сплава. Исследовали цилиндрические образцы диаметром и высотой 7 мм. Для уменьшения трения по торцовым поверхностям применяли графитовую смазку.

Предел текучести при сжатии определяли методом ступенчатого нагружения и разгрузки образцов с увеличением усилия на 10 кН. После каждого нагружения измеряли остаточную деформацию образца с помощью индикатора с ценой деления 1 мкм. За предел текучести принимали $\sigma_{0,2}$, т. е. укорочение образца составляло 0,014 мм.

Измерения высоты образцов показали, что при сжатии можно получить пластические деформации, превышающие 0,2 %. В большинстве случаев это приводило к значительному уменьшению высоты образца при равномерном по этому параметру изменении диаметра с незначительным бочкообразованием.

Испытания образцов на растяжение проводили согласно ГОСТ 1497-84 с использова-

Таблица 1

Значения температуры закалки и твердости образцов для различных режимов ТО

Марка БС	Режим ТО	Температура закалки, °С	Твердость, HRC
Р6М5	I	1210	65,5
	II	1210	64,7
	III	1225	65,7
	IV	1225	65,2
Р6М5К5	I	1225	65,3
	II	1225	64,5
	III	1240	65,5
	IV	1240	64,8
Р9М4К8	I	1215	66,3
	II	1215	66,1
	III	1225	66,9
	IV	1225	66,7
Р8М3К6С	I	1190	66,1
	II	1190	–
	III	1200	66,8
	IV	1200	66,3

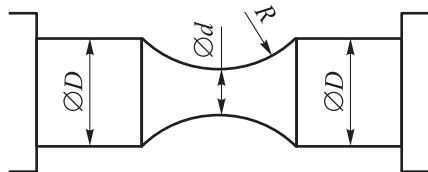


Рис. 1. Эскиз образца для испытания на растяжение ($D = 2,5d$; $R = 5d$)

нием универсальной испытательной машины Quasar50 фирмы Galdabini (Италия). Эскиз испытуемого образца показан на рис. 1.

При испытании образцов из металла, закаленного до высокой твердости, около головок возникают большие местные напряжения. Кроме того, в местах перехода от головки к рабочей части образца в процессе ТО возникают остаточные напряжения. Поэтому определить действительный предел прочности таких сталей трудно. Чтобы устранить влияние концентрации напряжений около головок, использовали образцы с предопределенным местом разрушения, т. е. на среднем участке рабочей части вышlifовывали торообразную поверхность.

При испытаниях на растяжение предпринимались попытки определения предела текучести материала. Изучение диаграмм сила — перемещение показало, что вплоть до разрушения образца пластические деформации практически отсутствовали. Измерение длины образцов индикатором с ценой деления 1 мкм не позволило зафиксировать изменение их длины. Это дает основание с достаточной для практики точностью считать, что закаленные БС при растяже-

нии до разрушения деформируются только упруго, т. е. $\sigma_t \approx \sigma_b$ [8], где σ_t и σ_b — пределы текучести и прочности.

Зависимости ударной вязкости КС от твердости образцов из четырех марок БС, полученной при различных ТО, приведены на рис. 2, а, где экспериментальные точки аппроксимированы прямыми линиями. Видно, что для БС всех марок ударная вязкость уменьшается с увеличением твердости, причем стали Р6М5 и Р6М5К5 особенно чувствительны к повышению твердости. Ударная вязкость сложнолегированных высококобальтовых сталей Р9М4К8 и Р8М3К6С, закаленных на высокую твердость, в среднем в 2–3 раза меньше, чем у марки Р6М5.

Зависимости пределов текучести и прочности при сжатии и предела прочности при растяжении образцов из БС четырех марок от твердости показаны на рис. 2, б [1], где экспериментальные точки аппроксимированы кривыми.

При исследовании прочностных свойств БС также изучали влияние упрочняющего покрытия их поверхности на эти свойства [9].

Одним из эффективных способов поверхностного упрочнения инструментальных сталей является метод ИА, при котором за счет энергии тлеющего разряда в разреженном газе происходит осаждение ионов азота на рабочих поверхностях РИ, являющегося катодом. При этом ионы азота, бомбардируя поверхность РИ, нагревают ее до температуры азотирования, что приводит к внешнему нагреву. В результате

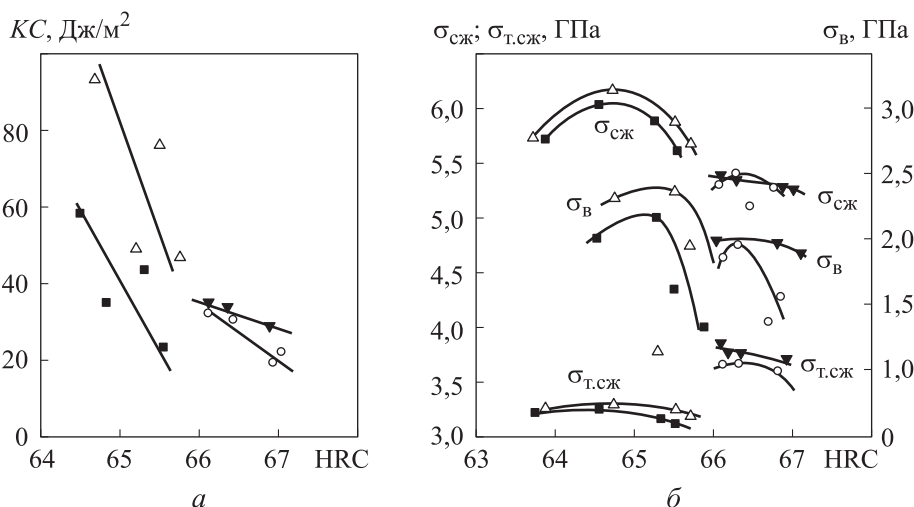


Рис. 2. Зависимости ударной вязкости КС (а), предела текучести при сжатии $\sigma_{т.сж}$ и пределов прочности при сжатии $\sigma_{сж}$ и растяжении $\sigma_{в}$ (б) от твердости образцов из БС различных марок: Δ — Р6М5; \blacksquare — Р6М5К5; \blacktriangledown — Р9М4К8; \circ — Р8М3К6С

обеспечивается интенсификация процесса и возможность управления им.

После ИА глубина упрочненного слоя может достигать 35 мкм, а его твердость увеличивается до 70...71 HRC. Кроме того, ИА приводит к повышению теплостойкости поверхностного слоя БС [10]. Поверхность азотированного РИ обеспечивает при контакте с обрабатываемым материалом меньший коэффициент трения, что повышает эксплуатационные свойства РИ. Все это позволяет в некоторых случаях увеличить стойкость РИ в 2–4 раза [11].

Однако при возрастании твердости и износостойкости азотированного слоя ухудшаются прочностные характеристики БС [12, 13], что приводит к снижению сопротивляемости РИ силовым нагрузкам. Чтобы более обоснованно выбрать области рационального применения ИА, необходимо иметь данные о характере и степени снижения прочностных свойств инструментального материала при ИА.

Исследование процесса ИА и влияния его параметров на прочностные характеристики БС проводили в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Изучали прочность на изгиб и кручение образцов, подвергнутых ИА. Опытные образцы изго-

тавливали из БС марок Р18 и Р9Ф5. Образцы проходили ТО на стандартных режимах, после чего их подвергали ИА на опытно-промышленной установке ММПО «Салют».

При ИА использовали два режима, позволяющие получить азотированный слой малой толщины (до 20 мкм), рекомендуемой для обработки резанием труднообрабатываемых жаропрочных и титановых сплавов, и повышенной толщины (20...30 мкм), необходимой для обработки обычных конструкционных материалов. Толщину азотированного слоя определяли на микрошлифе, полученном на образце-свидетеле.

Образцы, подвергнутые ИА, испытывали на трехточечный изгиб (ГОСТ 14019–2003), кручение (ГОСТ 3565–80) и ударный изгиб (ГОСТ 9454–78).

Испытания образцов на кручение проводили на испытательной машине 55MT5 фирмы Instron (США). Использовали сплошные цилиндрические образцы размером $\varnothing 8 \times 80$ мм. В процессе исследования записывали диаграмму кручения образца — зависимость крутящего момента от угла закручивания. Такое испытание выполняли для оценки пластичных конструкци-

Таблица 2

Результаты испытаний образцов при ИА

Вид испытания	Размеры образцов, мм	Материал образцов	Режимы ИА			КС, кДж/м ²	$\sigma_{в.и.}$, МПа	$\tau_{цл}/\tau_{в.}$, МПа	Коэффициент вариации параметра	Относительное значение прочностного параметра, %
			Температура в камере, °С	Время выдержки, мин	Глубина азотированного слоя, мкм					
Изгиб	4×10×55	Р18	–	–	0	–	4172	–	0,034	100
			450	30	21	–	1895	–	0,056	45
			450	60	27	–	1835	–	0,024	44
			450	120	33	–	1456	–	0,025	35
	10×10×55	Р18	–	–	0	–	3748	–	0,012	100
			400	60	16	–	2128	–	0,034	56
450			60	25	–	1993	–	0,025	53	
Кручение	$\varnothing 8 \times 80$	Р18	–	–	0	–	–	1479/1706	–	100
			400	60	15	–	–	1524/1653	–	97
			450	60	26	–	–	1486/1626	–	95
		Р9Ф5	–	–	0	–	–	1573/1812	–	100
			400	60	17	–	–	1655/1766	–	97
			450	60	27	–	–	1615/1745	–	96
Ударный изгиб	8×8×55	Р18	–	–	0	188	–	–	0,09	100
			450	30	21	34	–	–	0,2	18
			450	60	26	28	–	–	0,31	15
			450	120	34	26	–	–	0,32	14

онных и инструментальных сталей, находящихся в малопластичном или хрупком состоянии.

Полученные диаграммы характерны для материалов, находящихся в хрупком состоянии, однако в испытуемом материале наблюдались незначительные пластические деформации. По результатам испытаний на кручение определяли предел прочности при кручении τ_b .

Испытания образцов на ударный изгиб проводили по схеме трехточечного изгиба при расстоянии между опорами 45 мм с применением испытательной машины Quasar50 фирмы Galda-bini (Италия). Использовали призматические образцы размерами 4×10×55 мм, а также образцы квадратного сечения со стороной 10 мм.

В процессе испытаний фиксировали диаграмму изгиба — зависимость перемещения среднего сечения от силы, действующей на образец. Полученные диаграммы изгиба характерны для материалов, находящихся в хрупком состоянии, т. е. вплоть до разрушения образца не наблюдалось отклонения от линейной зависимости. По результатам испытаний определяли предел прочности при изгибе $\sigma_{в.и.}$

При каждом испытании разрушались 8–10 образцов, результаты подвергались статистической обработке [14]. Параметры образцов, режимы ИА и результаты испытаний приведены в табл. 2, где $\tau_{пл}$ — предел пропорциональности. Там же указаны параметры образцов и режимы ИА.

Выводы

1. Чтобы достичь высоких прочностных свойств БС, режимы ТО должны обеспечивать твердость 64,5...65,5 HRC для сталей P6M5, P6M5K5 и 66,0...67,0 HRC для сталей P9M4K8, P8M3K6.

2. После ИА прочность образцов при кручении уменьшается незначительно. По-видимому, в отличие от изгиба, возникающее при таком нагружении двухосное напряженное состояние оказывается менее опасным для разупрочненных границ зерен [15]. Направление растягивающего напряжения является более благоприятным к направлению микротрещин в поверхностном слое. Трещины не развиваются, и в работу включается более вязкая сердцевина образца.

3. Существенное влияние ИА на ударную прочность свидетельствует о том, что при наличии разупрочненного материала по границам зерен и концентраторов напряжений (в виде микротрещин) большая скорость деформации приводит к мгновенному распространению трещины и резкому снижению ударной прочности [16].

4. Прочность образцов при изгибе после ИА снижается на 50...60 %, хотя толщина азотированного слоя составляет 0,5...1,0 % толщины образца. Это, по-видимому, объясняется тем, что максимальные напряжения при изгибе испытывает поверхностный слой образца (более твердый, но менее прочный), причем направление этих напряжений неблагоприятное, что приводит к быстрому возникновению трещины. Также на степень уменьшения прочности на изгиб влияет высота сечения образца.

5. Результаты испытаний позволяют рекомендовать ИА для РИ, работающих в основном на сжатие и кручение (сверла, зенкеры, развертки и т. п.). Вместе с тем следует избегать (по возможности) применения ИА для мелкоразмерного РИ, а также инструмента, подвергаемого большим изгибающим нагрузкам [14].

Литература

- [1] Каченюк М.Н., Носков А.В., Патрушев В.С. Исследование влияния различных режимов ионного азотирования на формирование поверхностного упрочненного слоя быстрорежущей стали P6M5. *Молодой ученый*, 2016, № 23 (127), с. 50–54. URL: <https://moluch.ru/archive/127/35139>.
- [2] Виноградов Д.В. Новый взгляд на некоторые понятия теории резания. *Инженерный вестник*, 2012, № 9. URL: <http://www.ainjournal.ru/doc/478371.html>
- [3] Зубков Н.Н. Инструментальные материалы для изготовления лезвийных инструментов. *Наука и образование: научное издание*, 2013, № 5. URL: <http://engineering-science.ru/doc/569432.html>
- [4] Ярославцев В.М. Энергетическая характеристика обрабатываемости материалов резанием. *Наука и образование: научное издание*, 2012. URL: <http://engineering-science.ru/doc/369499.html>

- [5] Древаль А.Е., Ткаченко И.В., Рагрин Н.А. Модели отказов спиральных сверл. В: *Проблемы эксплуатации инструмента в металлообрабатывающей промышленности*. Москва, ЦРДЗ, 1992, с. 55–62.
- [6] Чернобай С.П., Муравлев В.И., Прохоров А.Г. Свойства инструмента из быстрорежущей стали в зависимости от режимов изотермической закалки. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2002, № 2, с. 11–12.
- [7] Тивирев Е.Г., Даниленко Б.Д. Выбор режима резания для комбинированного осевого инструмента из быстрорежущей стали. *Инженерный вестник*, 2015, № 11, <http://www.ainjournal.ru/doc/822507.html>
- [8] Древаль А.Е., Васильев С.Г., Виноградов Д.В. и др. Контрольно-измерительный диагностический стенд для экспериментальных исследований в технологии механической обработки. *Наука и образование: научное издание*, 2014, № 12. URL: <http://engineering-science.ru/doc/749286.html>
- [9] Ипполитов В.Н., Кишуров В.М. К вопросу повышения стойкости инструментов из быстрорежущей стали Р6М5 с износостойкими покрытиями и подвергнутых ионной имплантации. *Оптимизация и управление процессом резания, мехатронные станочные системы. Сб. тр. межд. науч.-тех. конф.* Уфа, 2004, с. 21–26.
- [10] Герасимов С.А., Крукович М.Г., Бадерко Е.А. и др. Моделирование процесса ионного азотирования. *Наука и образование: научное издание*, 2013, № 1. URL: <http://engineering-science.ru/doc/501016.html>
- [11] Лесников С.В., Соловьев Е.А. Исследование методов повышения стойкости режущего инструмента. *Молодой ученый*, 2019, № 44, с. 106–112.
- [12] Водин Д.В. Ионное азотирование как перспективный метод повышения износостойкости металлорежущего инструмента. *Технические науки: теория и практика. Мат. III Межд. науч. конф.* Чита, Молодой ученый, 2016, с. 95–96.
- [13] Тушинский Л.И., Плохов А.В., Токарев А.О. и др. *Методы исследования материалов*. Москва, Мир, 2004. 380 с.
- [14] Космынин А.В., Чернобай С.П. Перспективные технологии изготовления режущего инструмента. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*, 2012, № 4. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=2253>
- [15] Мурзин С.П., Трегуб В.И. Оценка уровня внутренних напряжений в приповерхностном слое нанопористых металлических материалов. *Известия Самарского научного центра РАН*, 2011, т. 13, № 4, с. 91–95.
- [16] Szuladzinski G. *Formulas for mechanical and structural shock and impact*. CRC Press, 2019. 790 p.

References

- [1] Kachenyuk M.N., Noskov A.V., Patrushev V.S. Investigation of the influence of different ion nitriding regimes on the formation of surface hardened layer of high-speed steel P6M5. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], 2016, no. 23, pp. 50–54. (In Russ.).
- [2] Vinogradov D.V. A new perspective on some concepts of cutting theory. *Inzhenernyy vestnik* [Engineering Bulletin], 2012, no. 9. URL: <http://www.ainjournal.ru/doc/478371.html> (in Russ.).
- [3] Zubkov N.N. Cutting tool materials for edge tool manufacturing. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie* [Science and Education: Scientific Publication], no. 5. URL: <http://engineering-science.ru/doc/569432.html> (in Russ.).
- [4] Yaroslavtsev V.M. Energy characteristic of material cutability. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie* [Science and Education: Scientific Publication], 2012. URL: <http://engineering-science.ru/doc/369499.html> (in Russ.).
- [5] Dreval A.E., Tkachenko I.V., Ragrin N.A. Modeli otkazov spiralnykh sverl [Failure models for spiral drills]. V: *Problemy ekspluatatsii instrumenta v metalloobra-batyvayushchey promyshlennosti* [In: Problems of tool exploitation in metal-working industry]. Moscow, TsRDZ Publ., 1992, pp. 55–62. (In Russ.).
- [6] Chernobay S.P., Muravlev V.I., Prokhorov A.G. Properties of tools from high-speed steels as a function of the mode of isothermal quenching. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka*

- metallov*, 2002, no. 2, pp. 11–12. (In Russ.). (Eng. version: *Met. Sci. Heat Treat.*, 2002, vol. 44, no. 1–2, pp. 55–56, doi: <https://doi.org/10.1023/A:1015312207588>)
- [7] Tivirev E.G., Danilenko B.D. Choice of cutting mode for combined axial tool from high-speed steel. *Inzhenernyy vestnik* [Engineering Bulletin], 2015, no. 11, <http://www.ainjournal.ru/doc/822507.html> (in Russ.).
- [8] Dreval A.E., Vasilyev S.G., Vinogradov D.V. et al. Measuring diagnostic stand for experimental researches in technology machining. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie* [Science and Education: Scientific Publication], 2014, no. 12. URL: <http://engineering-science.ru/doc/749286.html> (in Russ.).
- [9] Ippolitov V.N., Kishurov V.M. [To the question of increasing the durability of tools from high-speed steel P6M5 with wear-resistant coatings and subjected to ion implantation]. *Optimizatsiya i upravlenie protsessom rezaniya, mekhatronnye stanochnye sistemy. Sb. tr. mezhd. nauch.-tekh. konf.* [Optimization and management of cutting process, mechatronic machine systems. Proc. Int. Sci. Tech. Conf.]. Ufa, 2004, pp. 21–26. (In Russ.).
- [10] Gerasimov S.A., Krukovich M.G., Baderko E.A. et al. Simulation of ion nitriding. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie* [Science and Education: Scientific Publication], 2013, no. 1. URL: <http://engineering-science.ru/doc/501016.html> (in Russ.).
- [11] Lesnikov S.V., Solovyev E.A. Investigation of methods to improve the durability of cutting tools. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], 2019, no. 44, pp. 106–112. (In Russ.).
- [12] Vodin D.V. [Ion nitriding as a promising method of improving the wear resistance of metal-cutting tools]. *Tekhnicheskie nauki: teoriya i praktika. Mat. III mezhd. nauch. konf.* [Technical sciences: theory and practice. Proc. III Int. Sci. Conf.]. Chita, Molodoy uchenyy Publ., 2016, pp. 95–96. (In Russ.).
- [13] Tushinskiy L.I., Plokhov A.V., Tokarev A.O. et al. *Metody issledovaniya materialov* [Methods of materials research]. Moscow, Mir Publ., 2004. 380 p. (In Russ.).
- [14] Kosmylin A.V., Chernobay S.P. Perspective technologies of cutting tools manufacture. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy*, 2012, no. 4. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=2253> (in Russ.).
- [15] Murzin S.P., Tregub V.I. Estimation of level of internal pressure in near-surface a layer nanoporous the metal materials. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Izvestia RAS SamSC], 2011, vol. 13, no. 4, pp. 91–95. (In Russ.).
- [16] Szuladzinski G. *Formulas for mechanical and structural shock and impact*. CRC Press, 2019. 790 p.

Статья поступила в редакцию 02.05.2023

Информация об авторах

БУКЕТКИН Борис Васильевич — старший преподаватель кафедры «Прикладная механика». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: СТАНОК@gmail.com).

ДАНИЛЕНКО Константин Борисович — старший преподаватель кафедры «Прикладная механика». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: dcb@bmstu.ru).

Information about the authors

BUKETKIN Boris Vasilievich — Senior Lecturer. Department of Applied Mechanics. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Bauman-skaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: СТАНОК@gmail.com).

DANILENKO Konstantin Borisovich — Senior Lecturer. Department of Applied Mechanics. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: dcb@bmstu.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Букеткин Б.В., Даниленко К.Б. Влияние режимов термообработки и ионного азотирования на прочностные свойства быстрорежущих сталей. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2023, № 12, с. 73–79, doi: [10.18698/0536-1044-2023-12-73-79](https://doi.org/10.18698/0536-1044-2023-12-73-79)

Please cite this article in English as:

Buketkin B.V., Danilenko K.B. Heat treatment and ion nitriding modes influence on strength properties of the high-speed steels. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2023, no. 12, pp. 73–79, doi: [10.18698/0536-1044-2023-12-73-79](https://doi.org/10.18698/0536-1044-2023-12-73-79)