



УДК 621.74

Поступила 29.01.2018

НОВЫЕ СОСТАВЫ СТАЛЕЙ ДЛЯ ИНСТРУМЕНТА ХОЛОДНОГО И ГОРЯЧЕГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ УПРОЧНЕНИЯ

В. Н. ФЕДУЛОВ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. Тел. +375 29 63 10 985

Рассмотрены новые составы инструментальных сталей повышенной износостойкости для изготовления инструмента различного назначения. Результаты этой работы могут быть использованы при изготовлении штампов холодного и горячего формообразования и рабочих частей пресс-форм литья алюминиевых и медных сплавов, а также и при изготовлении режущего инструмента для деревообработки и даже пресс-форм при литье пластмасс. При этом следует свой выбор останавливать на любой из сталей в зависимости от назначения и необходимого ресурса работы инструмента.

Ключевые слова. Новые инструментальные стали, состав, твердость, инструмент для холодного и горячего формообразования, особенности технологии упрочнения для достижения максимального эффекта.

Для цитирования. Федулов, В. Н. Новые составы сталей для инструмента холодного и горячего формообразования и возможности их упрочнения / В. Н. Федулов // *Литье и металлургия*. 2018. Т. 91. № 2. С. 119–123.

NEW COMPOSITIONS OF TOOL STEELS FOR COLD AND HOT FORMING AND THEIR HARDENING CAPABILITIES

V. N. FEDULOV, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. Tel. +375 29 63 10 985

New compositions of tool steels of increased wear resistance for manufacturing tools of various purposes are considered. The results of this work can be used in the manufacture of cold and hot forming molds and working parts of die casting molds of aluminum and copper alloys, as well as in the manufacture of cutting tools for woodworking and even for plastics molding. In every case your selection of the steels depends on the purpose of use and the required operational life of the tool.

Keywords. New tool steels, composition, hardness, tools for cold and hot forming, features of hardening technology for achieving maximum effect.

For citation. Fedulov V. N. New steel compositions for cold and hot forming tools and their hardening capabilities. *Foundry production and metallurgy*, 2018, vol. 91, no. 2, pp. 119–123.

Решение проблемы повышения стойкости штампов различного назначения и рабочих частей пресс-форм для литья алюминиевых сплавов необходимо связывать с химическим составом применяемых инструментальных сталей, исходным состоянием их структуры в заготовках и режимами термической и химико-термической обработки для создания нужной износостойкости и теплостойкости в каждом из видов инструмента в отдельности, опираясь на требуемое достижение уровня механических свойств и необходимый ресурс их работы [1–6]. Соблюдение условий эксплуатации инструмента, высокая квалификация исполнителя и выполнение профилактических работ во время эксплуатации способствуют повышению времени работы такого вида инструмента.

Цель данной работы – обобщение результатов проведенных ранее исследований по разработке новых составов инструментальных сталей и определения области их использования и возможности упрочнения с применением закалки, охлаждающей среды и определенного режима отпуска, а также указания на проведение наиболее важных технологических подробностей всего цикла термического упрочнения, особенно химико-термической обработки на заключительном этапе.

Марки инструментальных сталей повышенной и высокой теплостойкости для проведения различного вида операций холодной деформации и их химические составы приведены в табл. 1 [7–21]. остано-

вмесь лишь на некоторых наиболее значимых моментах использования этих сталей при изготовлении инструмента. Термическое упрочнение сталей 9Х6НМФСТ, 7Х5МФС и 5Х5Н2МФС производится с использованием закалки от температуры 1000–1100 °С в масле и высокого отпуска при температуре 525–550 °С в течение 2–3 ч. Остальные стали упрочняются с использованием закалки в масле от температуры 900–1000 °С и отпуска при температуре от 150 до 350 °С в течение 2–3 ч. Эти стали не боятся перегрева при нагреве под закалку из-за присутствия в их составе ванадия и других элементов. И только сталь 78ГМФС нагревается при закалке до 850–900 °С и охлаждается по схеме «через воду в масло». Отпуск деталей следует производить сразу после завершения охлаждения после закалки. Для дополнительного упрочнения рабочей поверхности готового инструмента из сталей 9Х6НМФСТ, 7Х5МФС и 5Х5Н2МФС после проведения отпуска и окончательной механической обработки можно выполнять операцию карбонитрирования в обмазке состава № 2 или № 3 (табл. 2) в виде водной суспензии. Эти обмазки на водной основе применяются с нагревом в обычной отпускной или другой электропечи при температуре 520 °С в течение 2–4 ч. При этом толщина слоя обмазки, укладываемой на упрочняемые поверхности, должна быть в пределах 10 мм.

Таблица 1. Химические составы разработанных инструментальных сталей для проведения операций холодной деформации и деревообработки

Марка стали	Содержание легирующих элементов, мас. %								Твердость HRC, источник
	C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	V	
78ГМФС	0,7–0,85	0,5–0,8	0,3–0,56	–	–	–	0,2–0,5	0,02–0,12	59–63 [7]
78ГМ1ФС	0,76–0,83	0,8–1,2	0,45–0,8	–	–	Al до 0,04	0,75–1,2	0,06–0,12	59–63 [8]
78Х4МФС	0,75–0,85	0,8–1,5	0,6–1,0	3,0–4,5	–	Al до 0,08	0,15–0,2	0,08–0,15	59–63 [9]
6Х3МФС	0,6–0,7	0,8–1,1	0,6–0,9	2,5–3,5	–	–	0,5–0,9	0,1–0,2	59–60 [10]
8ХНМФС	0,85–0,95	0,6–1,2	0,5–0,8	1,4–1,75	0,6–0,9	–	0,15–0,3	0,06–0,15	59–64 [11]
7ХНМФС	0,65–0,75	0,6–0,9	0,5–0,8	0,9–1,45	1,5–1,8	–	0,15–0,3	0,06–0,15	59–61 [12]
78ГМС	0,76–0,85	0,6–0,9	0,5–0,83	–	–	–	0,5–1,0	–	59–62 [13]
9Х6НМФСТ	0,85–0,95	0,4–0,9	0,8–1,2	5,5–6,5	1,2–1,8	Ti до 0,15	0,5–0,8	0,3–0,5	59–61 [14]
6ХВМФС	0,6–0,8	0,5–0,9	0,5–0,8	0,6–1,5	–	0,6–1,8	0,3–1,2	0,15–0,5	59–63 [15, 16]
7Х3ВМФС	0,6–0,85	0,6–1,2	0,5–0,9	2,8–4,5	–	1,1–2,5	0,8–2,0	0,3–0,8	59–63 [17, 18, 19]
7Х2ВФС	0,65–0,75	0,6–0,9	0,15–0,5	1,0–3,0	–	1,5–2,6	–	0,2–0,5	59–63 [20]
7Х5МФС	0,65–0,85	0,6–1,2	0,3–0,9	4,5–5,5	–	–	0,7–1,5	0,3–0,5	59–61 [21]
5Х5Н2МФС	0,5–0,6	До 1,2	До 0,8	4,5–5,5	1,5–3,0	–	до 1,5	до 1,1	59–61, новая марка

Места, неподлежащие дополнительному поверхностному упрочнению, и резьбу следует обмазать размоченным в воде до определенной консистенции листовым асбестом для защиты от диффузии азота и углерода. Снятие отработанной обмазки и асбеста производится посредством зачистки металлическим скребком и промывки в теплой воде с использованием ветоши или обычной щетки. Затем просушить детали и произвести в нужной степени полирование упрочненной и нагретой поверхностей инструмента с помощью войлочного круга и прокалбировать резьбовые соединения по мере требования чертежа.

Таблица 2. Составы обмазки для диффузионного борирования и карбонитрирования поверхности различного инструмента из сложнелегированных теплостойких сталей

Номер состава обмазки	Состав обмазки	Массовая доля компонентов, %	Источник
1	Карбид бора Фтористый натрий Бентонит Железная окалина Закись меди	65–70 5–6 5–7 10–18 5–8	[31]
2	Калий железистосинеродистый Оксид кремния Хлористый натрий Фтористый кальций	45–55 35–45 4–6 4–6	[32]
3	Калий железистосинеродистый Оксид кремния Хлористый натрий Порошкообразный гипс	50–60 20–38 9–15 3–5	[33]

Номер состава обмазки	Состав обмазки	Массовая доля компонентов, %	Источник
4	Калий железистосинеродистый	50–60	[5]
	Оксид кремния	23–36	
	Хлористый натрий	5–7	
	Фтористый стронций	5–7	
	Порошкообразный гипс	3–5	

Все инструментальные стали (см. табл. 1) следует использовать для изготовления вырубных, обрубных, гибочных, формующих и других штампов в зависимости от усилий и вида нагружения, материала и толщины исходной заготовки, а также для другого инструмента при выполнении операций холодной обработки металлов и сплавов, в том числе твердых и вязких. Стали 78ГМС, 78ГМФС и 78ГМ1ФС можно использовать также для изготовления резанием сложных изделий из древесины и подобных материалов, а стали 78ГМФС и 78ГМ1ФС дополнительно и для пресс-форм литья пластмасс: они не содержат крупных карбидов из-за отсутствия хрома и очень хорошо полируются.

Для инструментальных сталей, используемых для горячего формообразования (табл. 3), температурный интервал эксплуатации и режимы термического упрочнения необходимо определять по данным [22–30] и уточнять их в каждом конкретном случае изготовления инструмента. При выборе состава инструментальной стали нужно обращать внимание на содержание таких важных для обеспечения теплостойкости элементов, как кремний, хром, никель, вольфрам, молибден и ванадий. Для инструментальных сталей высокой теплостойкости типа 4Х3В4МФС, 4Х2Н2В4МФС, 45ХВ4ФС и 4Н2В4ФС режим нагрева под закалку в масле следует выбирать с использованием предварительного подогрева при температуре 900 °С в течение 0,5 ч в пределах от 1160 до 1200 °С в зависимости от конфигурации инструмента и его назначения (штамп или пресс-форма) с использованием специальных электропечей или соляных и бариевых ванн. Рекомендуемый режим отпуска – нагрев при температуре 650–700 °С в течение 2–3 ч, охлаждение на воздухе.

Таблица 3. Химический состав разработанных инструментальных сталей для штампов и пресс-форм горячего формообразования или прошивных штампов

Марка стали	Содержание легирующих элементов в составе стали, мас. %								Источник
	C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	V	
4Х3ФВС	0,4–0,5	0,9–1,25	0,15–0,4	2,0–3,5	–	2,5–3,5	–	0,5–1,1	[22]
4Х3В4МФС	0,4–0,52	0,6–1,2	0,3–0,8	2,5–3,5	–	3,2–4,8	1,1–1,5	1,3–1,8	[23]
45ХВ4ФС	0,42–0,55	0,7–1,0	0,15–0,4	1,3–1,75	–	3,5–4,3	–	0,5–0,9	[24]
4Х3ВМФС	0,4–0,55	0,9–1,6	0,5–0,8	2,8–3,5	–	1,1–1,8	1,0–1,3	0,3–0,7	[25]
45ХВМФС	0,42–0,57	1,2–2,0	0,5–0,8	0,85–1,35	–	0,95–1,38	0,65–1,15	0,3–0,5	[26]
45ХВ2М2ФС	0,4–0,55	0,5–1,0	0,4–0,8	1,0–1,75	–	1,5–2,8	1,5–2,2	0,5–0,9	[27]
4Х3НМФС	0,35–0,55	0,4–1,2	0,40,8	2,0–3,5	0,65–1,5	–	0,35–1,2	0,3–0,5	[28]
45ХНМФС	0,43–0,53	0,9–1,2	0,5–0,8	0,9–1,2	1,0–1,5	–	0,6–1,0	0,2–0,3	[29]
4ГМФС	0,35–0,45	1,8–3,0	0,7–1,0	–	–	–	2,0–4,0	0,35–0,5	[30]
4Х5Н2МФС	0,45–0,52	До 1,2	До 0,7	4,5–5,5	2,0–3,0	–	До 1,5	До 1,1	Новая
4Х2Н2В4МФС	0,4–0,5	До 1,2	До 0,8	1,5–2,0	1,5–3,0	До 4,0	До 0,5	До 1,1	Новая
4Н2В4ФС	0,4–0,5	До 1,2	До 0,8	До 0,5	До 2,5	До 4,5	До 0,2	До 1,0	Новая

Для стали 4Х5Н2МФС нагрев под закалку следует производить при температуре 1090–1150 °С (последнее значение рекомендовано при упрочнении матриц и пуансонов пресс-форм) с охлаждением в масле: повышение температуры закалки приводит к увеличению размера аустенитного зерна и снижению пластичности, а отпуск назначать при температуре 600–650 °С в течение 2–3 ч, основываясь на требованиях конструкционной необходимости и состояния структуры стали, так как повышение температуры отпуска ведет к снижению твердости и повышению пластичности из-за коагуляции и изменения химического состава упрочняющих фаз и увеличению толщины границ аустенитного зерна.

После окончательного изготовления инструмента из сталей, приведенных в табл. 3, нужно производить операцию карбонитрирования рабочих поверхностей из обмазки состава № 4 с нанесением слоя водной суспензии толщиной 20 мм из первых четырех компонентов, а затем распылить сверху прокален-

ный порошкообразный гипс для создания на поверхности образовавшегося слоя обмазки твердой корочки с целью повышения активности процесса диффузионного насыщения азотом и углеродом. Температурный режим нагрева при проведении карбонитрирования – 520 °С в течение 4–8 ч.

В случае использования стали 4ГМФС (рекомендуется и для стали 5ХНМ) можно борировать рабочие поверхности инструмента из обмазки состава № 1 (см. табл. 2), нагревая инструмент в окончательно изготовленном виде под закалку при температуре 850 °С в течение до 2 ч и охлаждая затем в масле. Слой обмазки должен быть в пределах 8–10 мм. Отпуск в этом случае можно производить, не удаляя обмазку: ее можно удалить скребком сразу после отпуска. А перед полировкой рабочих поверхностей их необходимо промыть в теплой воде и вытереть ветошью насухо. Неупрочняемые поверхности инструмента можно защитить, как и в случае карбонитрирования, размоченным листовым асбестом.

Выводы

1. Рассмотрены новые составы инструментальных сталей повышенной износостойкости для изготовления инструмента различного назначения. Особое внимание при этом уделено наиболее важным моментам проведения их термического и химико-термического упрочнения.

2. Результаты могут быть использованы при изготовлении штампов холодного и горячего формования и рабочих частей пресс-форм литья алюминиевых и медных сплавов, а также при изготовлении режущего инструмента для деревообработки и пресс-форм литья пластмасс. При этом следует выбор стали делать в зависимости от назначения и необходимого ресурса работы инструмента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федулов В. Н. Влияние количественного легирования инструментальных сталей для горячего деформирования на уровень их упрочнения / В. Н. Федулов // Литье и металлургия. 2015. № 3 (80). С. 123–131.
2. Федулов В. Н. Пути повышения стойкости высоконагруженного инструмента горячей высадки головок болтов / В. Н. Федулов // Литье и металлургия. 2016. № 1. С. 120–129.
3. Федулов В. Н. Влияние условий охлаждения и размера заготовки при литье инструментальной стали на способность к последующему термическому упрочнению поверхности / В. Н. Федулов // Литье и металлургия. 2016. № 3. С. 117–127.
4. Федулов В. Н. Оптимизация температурного режима закалки для повышения теплостойкости инструментальной стали 4Х5МФ1С в различных заготовках. Выбор режима закалки стали 4Х5МФ1С для повышения твердости и теплостойкости после отпуска / В. Н. Федулов // Литье и металлургия. 2017. № 3. С. 70–77.
5. Обмазка для диффузионного карбонитрирования стальных изделий. Заявка на изобретение, № а 20160204 от 03.06. 2016 г. В. Н. Федулов. Заявитель – БНТУ. 6 с.
6. Федулов В. Н. Повышение стойкости пресс-форм для литья алюминиевых сплавов в процессе эксплуатации / В. Н. Федулов // Респ. межв. сб. науч. тр. «Металлургия», 2013. Вып. 34. Ч. 1. С. 180–187.
7. Инструментальная сталь: пат. 2041968 РФ / В. Н. Федулов и др. / Бюллетень № 24, 2000.
8. Инструментальная сталь: пат. 7513 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, В. Е. Ливенцев, 2005.
9. Инструментальная сталь: пат. 8647 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, В. Е. Ливенцев, 2006.
10. Инструментальная сталь: пат. 10629 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2008.
11. Инструментальная сталь: пат. 13783 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2010.
12. Инструментальная сталь: пат. 13979 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2011.
13. Инструментальная сталь: пат. 14569 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2011.
14. Инструментальная сталь: пат. 16385 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, И. О. Сазоненко, 2011.
15. Инструментальная сталь: пат. 17307 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, И. О. Сазоненко, 2013.
16. Инструментальная сталь: пат. 17527 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, И. О. Сазоненко, 2013.
17. Инструментальная сталь: пат. 18639 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, И. О. Сазоненко, 2014.
18. Инструментальная сталь: пат. 19743 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2015.
19. Инструментальная сталь: пат. 19874 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2016.
20. Инструментальная сталь: евразийский пат. 026543 / В. Н. Федулов, 2017.
21. Инструментальная сталь: пат. 21358 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2017.
22. Инструментальная сталь: пат. 21420 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2017.
23. Инструментальная сталь: пат. 20483 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2016.
24. Инструментальная сталь: пат. 20262 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2016.
25. Инструментальная сталь: пат. 18511 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2014.
26. Инструментальная сталь: пат. 18512 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, И. О. Сазоненко, 2014.
27. Инструментальная сталь: пат. 17311 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, И. О. Сазоненко, 2013.
28. Инструментальная сталь: пат. 12313 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2009.
29. Инструментальная сталь: пат. 8655 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2006.
30. Инструментальная сталь: пат. 7512 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2005.
31. Состав обмазки для устранения поверхностных микродефектов стальных изделий: пат. 8873 Респ. Беларусь / В. Е. Ливенцев, В. Н. Федулов, 2007.
32. Состав обмазки для диффузионного карбонитрирования: пат. 15496 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2012.
33. Состав обмазки для диффузионного карбонитрирования стальных изделий: пат. 21106 Респ. Беларусь / В. Н. Федулов, 2017.

REFERENCES

1. Fedulov V. N. Vliyanie kolichestvennogo legirovaniya instrumental'nykh staley dlya goryachego deformirovaniya na uroven' ich uprochneniya [Influence of quantitative alloying of tool steels for hot deformation on the level of their harden]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2015, no. 3 (80), pp. 123–131.
2. Fedulov V. N. Puti povysheniya stoykosti vysokonagruzhennogo instrumenta goryachey vysadki golovok boltov [Ways to increase the durability of a high-loaded tool for hot disembarkation of bolt heads]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2016, no. 1, pp. 120–129.
3. Fedulov V. N. Vliyanie usloviy ochlazhdeniya i razmera zagotovki pri lit'e instrumental'noy stali na sposobnost' k posleduyushemu termicheskomu uprochneniyu poverhnosti [Influence of the cooling conditions and the size of the billet in the casting of tool steel on the ability to subsequently harden the surface of the surface]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2016, no. 3, pp. 117–127.
4. Fedulov V. N. Optimizaciya temperaturnogo rezhima zakalki dlya povysheniya teplostoykosti instrumental'noy stali 4H5MF1S v razlichnykh zagotovkakh. Vybora rezhima zakalki stali 4H5MF1S dlya povysheniya tverdosti i teplostoykosti posle otpuska [Optimization of the temperature regime of quenching for increasing the heat resistance of 4X5MΦ1C tool steel in various blanks. Part 2. Choice of quenching of 4X5MΦ1C steel to increase hardness and heat resistance after tempering]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2017, no. 3, pp. 70–77.
5. Fedulov V. N. Obmazka dlya diffuzionnogo karbonitirovaniya stal'nykh izdeliy [Coating for diffusion carbonitriding of steel products]. *Zayavka na izobreteniye, №a 20160204 ot 03.06.2016 = Application for invention, no. 20160204 of 03.06, 2016, 6 p.*
6. Fedulov V. N. Povyshenie stoykosti press-form dlya lit'ya alyuminiyevykh splavov v processe ekspluatatsii [Increasing the durability of molds for casting aluminum alloys in the process of operation]. *Respubl. mezhvedomst. sb. nauch. tr. «Metallurgiya» = The Republican interdepartmental collection of scientific works «Metallurgy»*. Vyp. 34, 2013, part 1, pp. 180–187.
7. Fedulov V. N., e. a. *Instrumental'naya stal'* [Tool steel] Patent RF, no. 2041968, 2000.
8. Fedulov V. N., Liventsev V. E., e. a. *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 7513, 2005.
9. Fedulov V. N., Liventsev V. E., e. a. *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 8647, 2006.
10. Fedulov V. N., e. a. *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 10629, 2008.
11. Fedulov V. N., e. a. *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 13783, 2010.
12. Fedulov V. N., e. a. *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 13979, 2011.
13. Fedulov V. N., e. a. *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 14569, 2011.
14. Fedulov V. N., Sazonenko I. O., e. a. *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 16385, 2011.
15. Fedulov V. N., Sazonenko I. O., e. a. *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 17307, 2013.
16. Fedulov V. N., Sazonenko I. O., e. a. *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 17527, 2013.
17. Fedulov V. N., Sazonenko I. O., e. a. *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 18639, 2014.
18. Fedulov V. N., e. a. *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 19743, 2015.
19. Fedulov V. N., e. a. *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 19874, 2016.
20. Fedulov V. N., e. a. *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Euroasian patent, no. 026543, 2017.
21. Fedulov V. N., e. a. *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 21358, 2017.
22. Fedulov V. N., e. a. *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 21420, 2017.
23. Fedulov V. N., e. a. *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 20483, 2016.
24. Fedulov V. N., e. a. *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 20262, 2016.
25. Fedulov V. N., e. a. *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 18511, 2014.
26. Fedulov V. N., Sazonenko I. O., e. a. *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 18512, 2014.
27. Fedulov V. N., Sazonenko I. O., e. a. *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 17311, 2013.
28. Fedulov V. N., e. a. *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 12313, 2009.
29. Fedulov V. N., e. a. *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 8655, 2006.
30. Fedulov V. N., Liventsev V. E., e. a. *Instrumental'naya stal'* [Tool steel]. Patent BY, no. 7512, 2005.
31. Liventsev V. E., Fedulov V. N., e. a. *Sostav obmazki dlya ustraneniya poverkhnostnykh mikrodefektov stal'nykh izdeliy* [Composition of a coating for the removal of surface microdefects of steel products]. Patent BY, no. 8873, 2007.
32. Fedulov V. N., e. a. *Sostav obmazki dlya diffuzionnogo karbonitirovaniya* [Composition of a coating for diffusion carbonitriding]. Patent BY, no. 15496, 2012.
33. Fedulov V. N., e. a. *Sostav obmazki dlya diffuzionnogo karbonitirovaniya stal'nykh izdeliy* [Composition of a coating for the diffusion carbonitriding of steel products]. Patent BY, no. 21106, 2017.