

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ФОРМООБРАЗУЮЩЕГО ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА ИЗ НИОБИЙСОДЕРЖАЩЕЙ СТАЛИ**

Л.Р. Дудецкая, А.П. Ласковнев, А.И. Покровский, М.Б. Дудецкий, В.В. Александров

Физико-технический институт НАН Беларуси  
г. Минск, Республика Беларусь

*Исследованы методы индукционной, электродуговой плавки и электрошлакового переплава при производстве литых заготовок из литейной штамповой стали, а также способы формирования их структуры и свойств в литом состоянии и после термической обработки.*

**Ключевые слова:** литая мелкозернистая штамповая сталь, структура и свойства литого деформируемого инструмента при использовании различных методов изготовления отливок.

## **THE SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL BASES OF MAKING FORMING PUNCHING INSTRUMENT FROM NIOBIUM STEEL**

L.R. Dudeckaya, A.P. Laskovnev, A.I. Pokrovsky V.V.Alexandrov, M.B. Dudetsky

Physical-technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus  
Minsk, Republic of Belarus

*The methods of induction, electric arc melting and electroslag remelting in the manufacture of cast billets from foundry steel, as well as the features of the formation of their structure and properties in the cast state and after heat treatment are investigated.*

**Keywords:** casting fine-grained die-cast steel, structure and properties of die-cast tool using different melting methods for cast casting.

**E-mail:** fmmlab@tut.by

### **Введение**

Инструментальная оснастка (вставки штампов) является одним из важнейших элементов технологического процесса изготовления поковок. Расходы на обеспечение штамповой оснасткой действующего производства достигают в массовом производстве 25–30 %. С учетом простоев оборудования при замене и наладке штамповых вставок затраты могут достигать 50 % общих затрат на изготовление поковок.

Основным направлением работ, связанных с повышением стойкости штамповой оснастки, до недавнего времени являлось использование высоколегированных, т.е. весьма дорогих штамповых сталей. В то же время анализ современного зарубежного опыта показывает, что до 70 % вставок штампов в мировой практике получают на основе применения литейных технологий [1], поскольку при этом наиболее полно решается проблема повышения их стойкости, снижения трудоемкости изготовления и себестоимости.

На основании результатов исследований, выполненных сотрудниками лаборатории специальных сплавов и технологий Физико-технического института НАН Беларуси, была поставлена задача разработать и освоить в условиях Минского тракторного завода новую штамповую сталь 5ХНМБЛ и литейную технологию изготовления из нее сменной штамповой оснастки, конкурирующей со стойкостью штамповых вставок, изготовленных традиционными методами из импортируемого проката или поковок.

Открытие способности микродобавок ниобия (в пределах 0,04 масс.%) одновременно повышать прочностные свойства штамповой стали и сдвигать в сторону более низких температур область ее хрупкого разрушения явилось прорывом в технологии производства штамповой оснастки. При этом решались следующие технологические задачи:

- обеспечение уникального сочетания в штамповой стали повышенной прочности и вязкости;

- получение мелкозернистой структуры и повышение уровня свойств штамповой стали путем введения очень малых (до 0,04 масс.%) добавок ниобия, что является экономически более целесообразным, чем другие способы упрочнения (традиционное легирование, термическая обработка).

Основная причина достижения значительного экономического эффекта при микролегировании ниобием связана с тем, что этот элемент образует стабильные карбиды, обеспечивая эффект измельчения аустенитного зерна и дисперсионного упрочнения стали. При температуре нагрева стали 1100 °С и содержании углерода 0,5 % растворимость ниобия в аустените не превышает 0,025 %, поэтому основной эффект микролегирования ниобием инструментальной стали состоит в предотвращении роста зерна аустенита при ее нагреве под закалку. В этих условиях для использования эффекта измельчения зерна реализуются два механизма:

1. Поскольку для инструментальных сталей, кроме твердости и прочности, необходима повышенная вязкость, хрупкое интеркристаллическое разрушение может быть связано с наличием карбидных выделений на границах бывших аустенитных зерен, мелкое зерно уменьшает количество таких выделений и способствует увеличению вязкости стали.

2. Высокая стабильность карбида ниобия позволяет применять более высокие температуры нагрева стали 5ХНМБЛ под закалку без опасения формирования крупного зерна аустенита, что позволяет растворить большее количество других карбидообразующих элементов и получить лучшие свойства (например, красностойкость) без снижения вязкости.

### **Методики исследований**

Для выплавки новой стали использовали индукционную плавильную печь ИСТ-0,16 с кислой футеровкой. Для термической обработки литых вставок штампов применяли шахтную печь сопротивления марки WP30/1200 фирмы «Утерна УАБ» (Литва) с программным управлением.

Плавку и разливку стали 5ХНМБЛ осуществляли следующим образом. После загрузки и полного расплавления шихтовых материалов удаляли шлак с поверхности

жидкого металла и вводили в него расчетное количество ферросплавов для компенсации угара компонентов. При выпуске металла из печи на дно разливочного ковша помещали расчетное количество измельченного феррониобия. После нагрева до температуры 1600...1620 °С и раскисления расплава алюминием производили разливку стали, используя разливочный ковш емкостью 50 кг, разогретый при помощи газовой горелки до температуры 900 °С.

Состав шихтовых материалов, использованных при выплавке стали в индукционной печи, приведен в табл. 1.

**Табл. 1**

**Состав шихты при выплавке стали 5ХНМБЛ в индукционной печи**

Материалы (в тигель печи)	Марка	ГОСТ	Состав шихты, масс.%
Возврат стали 5ХНМ	5ХНМБЛ	ГОСТ 5950-2000[4] Патент РБ № 18273	99,10
Ферромарганец	ФМн70	ГОСТ 4755-91[5]	0,55
Феррохром	ФХ019А	ГОСТ 4757-91[6]	0,04
Ферромolibден	ФМо60	ГОСТ 4759 [7]	0,04
Феррониобий	FeNb65	ГОСТ 16773-2003 [8]	0,05
Никель	Н-3	ГОСТ 849-2008 [9]	0,07
Алюминий	АВ97	ГОСТ 295-98 [10]	0,15
		Итого	100,0
Силикокальций	СК25	ГОСТ 4762-71 [11]	0,1

Заливку металла в литейные формы производили при температуре 1560...1580 °С в литейные формы, облицованные холодно-твердеющей формовочной смесью.

Компонентный состав стали, выплавленной в индукционной плавильной печи, определенный в Центральной заводской лаборатории ОАО «МТЗ», приведен в табл. 2.

**Табл. 2**

**Компонентный состав стали 5ХНМБЛ индукционной плавки**

Сталь	Компонентный состав стали, % масс.									
	С	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Cu	Nb	S	P
5ХНМБЛ	0,54	0,32	0,60	0,56	0,20	1,70	0,18	0,04	0,014	0,010

Часть заготовок была переплавлена на установке ЭШП в инструментальном цехе Тракторного завода, после чего в кузнечном цехе был опробован и запатентован метод формообразования гравюры вставки методом штамповки с использованием литых заготовок вставок из стали 5ХНМБЛ [2].

Схематически работа штампового комплекта при изготовлении вставок штампов с гравюрой представлена на рис. 1.

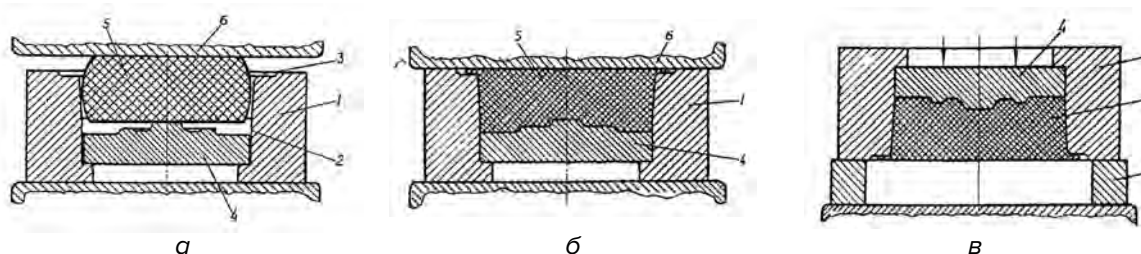


Рис. 1. Схема работы штампового комплекта при изготовлении вставки штампа с гравюрой

Корпус 1 со сменной штамповой вставкой 4, имеющей форму гравюры поковки, размещают на нижней неподвижной плите кузнечного молота. Нагретую до ковочной температуры мерную заготовку 5, изготовленную из отливки, устанавливают в рабочую полость корпуса 1, после чего прижатием верхнего бойка неподвижной траверсы молота осаживают до полного соприкосновения со сменной вставкой 4. При этом излишек металла выдавливается вверх в горизонтальный зазор 3, расположенный в верхней части корпуса, образуя облой кольцевой формы. После завершения процесса деформирования штамповый комплект поворачивают на  $180^\circ$  и устанавливают на подкладную плиту 7. (рис. 1, в). Поскольку внутренняя полость корпуса 1 имеет форму усеченного конуса, удаление поковки происходит самопроизвольно.

Повышение эксплуатационной стойкости вставки и точности гравюры поковки достигается за счет соответствия размеров диаметра нижней части рабочей полости корпуса и хвостовой части сменной вставки штампового комплекта. За счет формообразования гравюры методом деформации устраняется необходимость удаления ее поверхностного слоя механическим путем (например, выжиганием или слесарной обработкой) и сохранения наиболее благоприятной структуры металла в зоне соприкосновения вставки с деформируемой поковкой.

На последующих этапах изготовления вставок штампов выполнялись следующие технологические операции:

- предварительная термическая обработка литых заготовок для снятия внутренних напряжений и стабилизации исходной структуры. Для этого через сутки после заливки производили выбивку отливок из литейных форм, укладку на поддоны и загрузку в электрическую печь сопротивления СНО-8.10.10/9.00.00.000РЭ при температуре  $600^\circ\text{C}$ .

Термическая обработка вставок штампов включала следующие технологические операции:

- выдержка отливок при температуре  $600^\circ\text{C}$  в течение 2–3 часов;
- подъем температуры в печи до  $900^\circ\text{C}$ ;
- выдержка отливок при данной температуре в течение 5–8 часов в зависимости от их габаритных размеров;
- охлаждение отливок с печью до температуры  $700^\circ\text{C}$ , выдержка в течение 5–7 часов;
- охлаждение отливок с печью до температуры  $300^\circ\text{C}$  с последующим охлаждением на воздухе.

Для уточнения компонентного состава вставок штампов из них были изготовлены образцы для исследования структуры и свойств. Методы испытаний и применяемое для исследований оборудование приведены в табл. 3.

Табл. 3

## Оборудование и методы испытаний образцов вставок штампов

№ пп	Вид испытаний	Метод испытаний	Оборудование для проведения испытаний
1	2	3	4
1	Химический состав	Определение химического состава образца с отбором проб по ГОСТ 7565	Фотоэлектрическая система «Спектролаб М5»
2	Микроструктура	Образцы размером 20 × 30 × 12. Травление шлифов Пикралем (5-% ный раствор азотной кислоты в этиловом спирте)	Металлографический комплекс МКИ-2М-1 фирмы «Планар». Увеличение от х150 до х400.
3	Механические свойства	Испытания на ударный изгиб по ГОСТ 9454. Образцы 1-х10 мм, длина 50 мм, без надреза	Копер маятниковый типа PSO
4	Размер зерна	Образец 20х30х13 мм. Травление в 10%-ном растворе азотной кислоты в этиловом спирте	Автоматизированный металлографический комплекс МКИ-2М-1 фирмы «Планар». Сравнение с эталонами по ГОСТ 5639
5	Окисленный слой	Образец в виде сектора радиусом 55 мм, высотой 12 мм, длиной 60 мм. ГОСТ 1763	Автоматизированный металлографический комплекс МКИ-2М-1 фирмы «Планар». Сравнение с эталонами по ГОСТ 5639
6	Карбидная неоднородность	Образцы по п.2 ГОСТ 19265.п.3.3..табл.4 Травление в 10%-ном растворе азотной кислоты в этиловом спирте	Термическая печь. Закалка 1220 °С отпуск 700 °С 1 час. Увеличение ×100. Сравнение с эталонами
7	Отпускоустойчивость	Образец 20х30х13 мм ГОСТ 5950, ГОСТ 19265	Измерение твердости после 4-часовой выдержки при повышенных температурах

Компонентный состав слитков, полученных электрошлаковым переплавом литых заготовок стали 5ХНМБЛ электродуговой плавки, приведен в табл. 4.

Табл. 4

## Компонентный состав слитков ЭШП штамповой стали

Сталь	Компонентный состав, масс. % (по данным ЦЗЛ Тракторного завода)									
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	Cu	S	P
5ХНМ ГОСТ 5950	0,50– 0,60	0,10– 0,40	0,50– 0,80	0,50– 0,80	1,40– 1,80	0,15– 0,30		≤ 0,30	≤ 0,03	≤ 0,03
5ХНМБЛ электро- дуговая плавка	0,57	0,34	0,59	0,60	1,58	0,19	0,04	0,18	0,018	0,014
5ХНМБШ электро- шлако- вый переплав	0,56	0,22	0,52	0,58	1,57	0,17	0,013	0,019	0,004	0,019

Для уточнения фазового состава полученных образцов был использован рентгено-структурный анализ, произведенный на аппарате ДРОН-3 с медным излучением. Рентгенограмма образца штамповой стали 5ХНМБЛ после закалки и отпуска приведена на рис. 2, результаты расшифровки приведены в табл. 5.

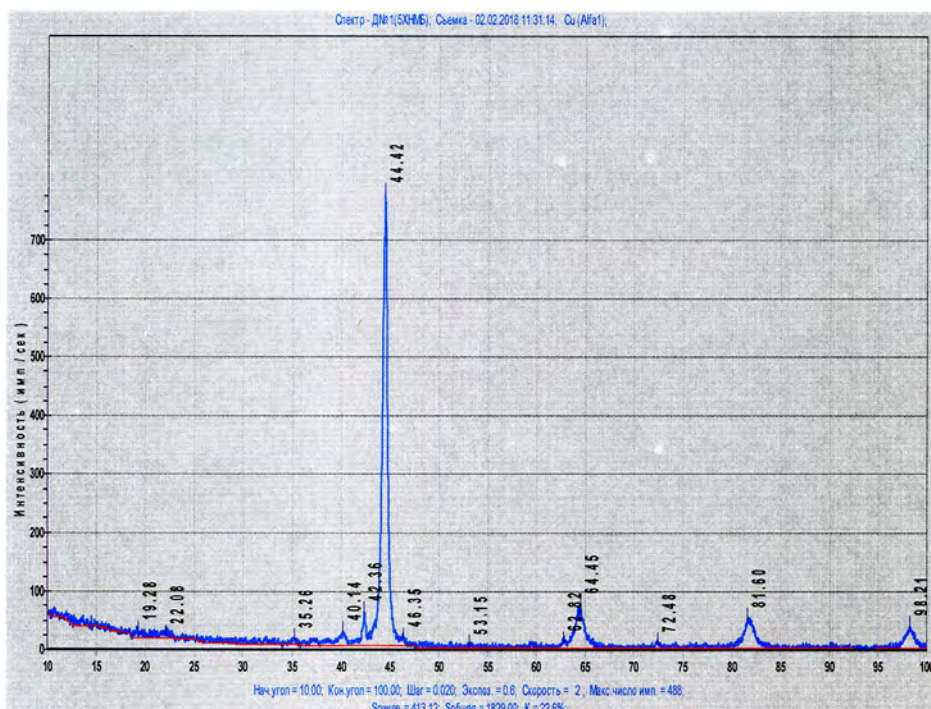


Рис. 2. Рентгенограмма образца стали 5ХНМБЛ после закалки и отпуска

Табл. 5

## Расшифровка рентгенограммы образца стали 5ХНМБЛ

Сталь	Угол отражения	Площадь линии	Интенсивность линии	Полуширина линии	Межплоск. расстояние.	Интенсивн. линии, макс	Площадь отраж.	Пл./интенс.	Фаза по картотеке АСТМ
5ХНМБЛ	19,284	7,07	7	0,9317	4,5988	1,29	2,43	1,0098	
	22,082	6,63	4	1,748	4,0221	0,74	2,28	1,8943	Fe <sub>3</sub> C
	35,259	4,50	6	0,6616	2,5433	1,11	1,54	0,717	Fe <sub>3</sub> C
	40,143	3,18	19	0,1566	2,2444	3,51	1,09	0,1698	Fe <sub>3</sub> C
	42,360	14,11	39	0,3364	2,1319	7,2	4,84	0,3647	Fe <sub>3</sub> C
	44,418	29,28	542	0,4958	2,0378	100	100	0,5373	aFe(100%)
	46,349	7,93	12	0,6357	1,9573	2,21	2,72	0,6891	Fe <sub>3</sub> C
	53,154	6,12	3	1,819	1,7216	0,55	2,10	1,9712	Fe <sub>3</sub> C
	62,820	0,70	12	0,0552	1,4780	2,21	0,24	0,0599	Fe <sub>3</sub> C
	64,451	47,53	47	0,9356	1,4445	8,67	16,32	1,0139	aFe(20%)
	72,480	6,25	8	0,6925	1,3029	1,48	2,15	0,7505	Fe <sub>3</sub> C
	81,600	33,34	40	0,7757	1,1788	7,38	11,45	0,8408	aFe(30%)
	98,214	25,70	23	1.0103	1,0189	4,24	8,82	1,0950	aFe(10%)

Результаты исследования микроструктуры образцов стали 5ХНМБЛ электрошлакового переплава в зависимости от режимов термической обработки приведены в табл. 6.

Табл. 6

## Влияние режимов термической обработки на структуру образцов стали электрошлакового переплава

Сталь	Режим термической обработки	Твердость НВ	Микроструктура
5ХНМБШ	Отжиг при температуре 950 °С, охлаждение с печью до температуры 300 °С, далее – на воздухе	255	Мартенсит отпуска (смесь аустенита и карбидов);
	Закалка в масле от температуры 850 °С, отпуск при температуре 550 °С	430	Мартенсит отпуска, зернистый перлит
	Отпуск при температуре 650 °С, охлаждение с печью	230	Феррито-карбидная смесь зернистого строения

Из приведенных в табл. 6 результатов можно сделать вывод об отсутствии в слитках ЭШП эвтектической составляющей непрерывного строения, что не обеспечивает достижения максимально высокой эксплуатационной стойкости сменного штампового инструмента.

Результаты определения механических и эксплуатационных свойств образцов стали 5ХНМБЛ индукционной плавки после дополнительного электрошлакового переплава приведены в табл. 7.

Табл. 7

### Механические и эксплуатационные свойства образцов стали 5ХНМБЛ

Номер образца	Способ выплавки	Твердость HRC	Ударная вязкость КСЧ, Дж/см*	Отпускоустойчивость, °С	Балл зерна в исходном состоянии
1	Индукционная плавка	42–44	0,38	550	7–8
2			0,40	570	
3			0,45	580	
4	Дополнительный электрошлаковый переплав	36–38	0,44	480	4–5
5			0,47	470	
6			0,48	450	

Приведенные в табл. 7 данные свидетельствуют о существенных преимуществах стали индукционной плавки по отношению к стали электрошлакового переплава. Влияние цельной карбидной эвтектики проявляется в повышенной отпускоустойчивости, твердости и сохранении мелкого зерна в процессе эксплуатации штампового инструмента.

Для сохранения высокой эксплуатационной стойкости необходимо было решить задачу получения отливок вставок штампов с наследственно мелким зерном. С этой целью был использован собственный патент авторов №18 273 на штамповую сталь, содержащую ниобий в количестве 0,04 масс %. Частицы карбидов указанного элемента, играющие роль центров кристаллизации стали, способствуют формированию наследственно мелкозернистой структуры в литых вставках штампов.

Микроструктура серийной стали 5ХНМЛ и опытной стали 5ХНМБЛ показана на рис. 3.

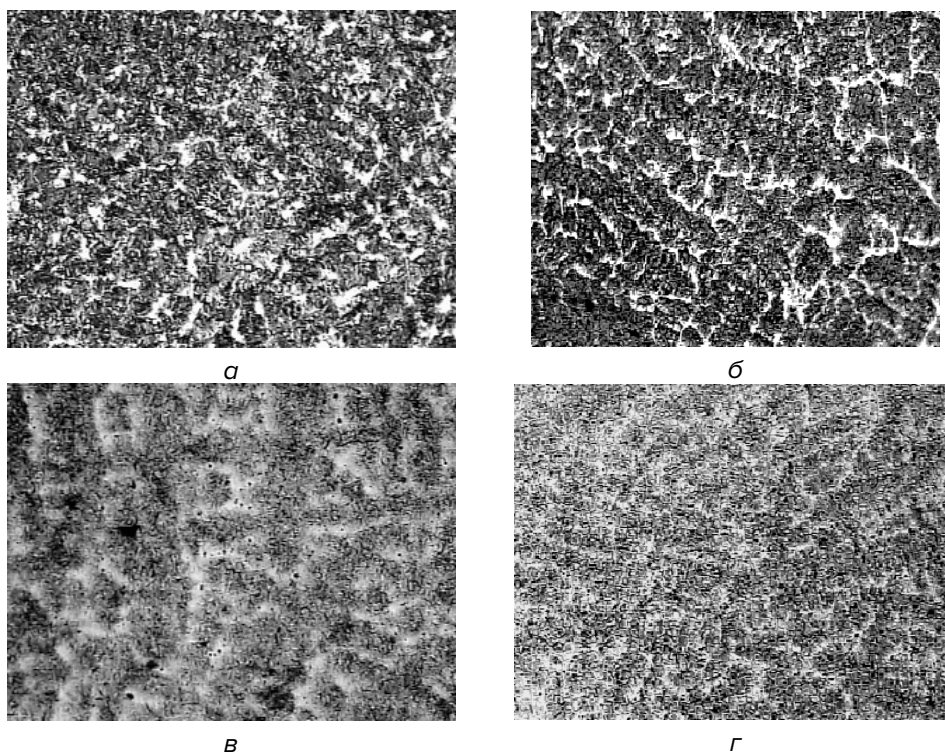


Рис. 3. Микроструктура штамповой стали, х500:  
*а, в* – 5ХНМЛ (серийная сталь), *б, г* – 5ХНМБЛ (опытная сталь) в литом состоянии (*а, б*) и после термической обработки (*в, г*) (закалка от температуры 900 °С, отпуск при температуре 600 °С – 4 часа)



Отличительной особенностью опытной стали индукционной плавки является строение эвтектики в поверхностном слое отливок в виде непрерывной сетки. Такая структура способствует увеличению эксплуатационной стойкости штампового инструмента, уменьшая износ его поверхности. Поверхностные слои металла литых заготовок служат режущими кромками штампового инструмента, работающими против смятия, истирания и скола и повышая его эксплуатационную стойкость.

Увеличение скорости охлаждения отливок в литейных формах обуславливает измельчение зерна и благоприятное распределение карбидной фазы, что приводит к росту прочностных характеристик стали. Несмотря на более низкую пластичность литого металла по сравнению с прокатом, скол кромок гравюры штампов в процессе эксплуатации отсутствует, вместо этого происходит их естественное затупление.

Современный зарубежный и отечественный опыт изготовления сменного штампового инструмента показывает, что наиболее полно проблемы повышения его стойкости, снижения трудоемкости изготовления а также утилизации отходов производства штамповых сталей могут успешно решаться на основе применения литейных технологий.

Поэтому крайне важно разработать для предприятий машиностроительной отрасли, особенно при массовом изготовлении выпускаемой продукции, технологические процессы, связанные с освоением литейно-деформационных технологий изготовления вставок штампов.

Эксплуатационная стойкость вставок штампов определяется следующими основными факторами:

- структура и технологические свойства штамповой стали;
- температурные режимы деформирования заготовок.

Наиболее распространенной среди штамповых сталей до настоящего времени остается сталь марки 5ХНМ. Из приведенной табл. 8 видно, что оптимальным сочетанием свойств при температуре 600 °С обладает сталь 5ХНМБЛ.

**Табл. 8**

**Механические свойства штамповых сталей горячего деформирования при температуре испытания 600°С**

Марка стали	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\Psi$ , %	КСУ, Дж
5ХНМ	250	200	90	50
5ХНМБЛ	350	250	95	80

Одним из существенных недостатков литых вставок штампов является укрупнение литейного зерна, происходящее при многократных переплавах отходов производства штамповых сталей. При этом падает стойкость вставок. Поэтому при освоении на Минском тракторном заводе литейной технологии изготовления сменной штамповой оснастки решалась задача получения литых вставок штампов со стабильно мелким зерном.

С этой целью в лаборатории специальных сплавов и технологий ФТИ НАН Беларуси была разработана сталь, легированная малыми добавками (в пределах 0,04 масс. %) ниобия. Кроме того, при изготовлении литых штамповых вставок был реализован технологический процесс формообразования их гравюры методом пластической обработки с сохранением упрочненной поверхности. Карбиды ниобия играли роль центров кристаллизации при формировании аустенитного зерна 7–9 балла. За счет формирования наследственно мелкозернистой структуры, сохраняющейся как при термической, так и при деформационной обработке, возрастает ударная вязкость

стали и замедляется ее разупрочнение при многократных нагревах в процессе эксплуатации штампового инструмента.

В 2017 году была произведена выплавка в индукционной плавильной печи емкостью 160 кг новой литейной штамповой стали, из которой были получены литые заготовки вставок штампов трех наименований, проведены термическая, деформационная и механическая обработка, а также испытания в лабораторных и заводских условиях. При этом было установлено, что средняя эксплуатационная стойкость одного комплекта литых вставок штампов соответствует стойкости такого же инструмента, изготовленного из поковок стали 5ХНМ, получаемой по экспорту из России.

**Табл. 9**

**Перечень опытных литых вставок штампов из стали 5ХНМБЛ**

№ плавки	Марка стали	№ вставки	№ поковки	Количество комплектов вставок
1	5ХНМБЛ	1330-6224-01/02	240-1403228	3
2		1330-5732-01/02	245-1403228	4
3		1330-6449-01,02	80-1701339	3
Итого				10

**Технологические и экономические показатели результатов испытаний литых вставок штампов**

При проведении испытаний литых вставок штампов на Минском тракторном заводе были достигнуты следующие основные показатели:

- средняя эксплуатационная стойкость одного комплекта вставок штампов составила 2200 циклов штамповки;
- экономия проката при изготовлении одного комплекта вставок штампов составила 16 кг за счет усовершенствования технологии формообразования гравюры;
- экономия трудозатрат при изготовлении одного комплекта вставок штампов, достигаемая за счет использования при формообразовании гравюры метода пластического формообразования составляет 16 нормо-часов;
- стоимость затраченной электроэнергии при переплаве составляет 153,1 тыс. руб.;
- стоимость использованного флюса (10 % от массы переплавленного металла) составляет 25,0 тыс. руб.;
- годовой экономический эффект, полученный только за счет изменения технологии формообразования гравюры вставки штампов модели 50-1601142, составил по данным ОАО «Минский тракторный завод» 93,6 млн руб.

Преимуществами применения литейных технологий при изготовлении штамповых вставок являются:

- более низкая стоимость литых вставок штампов по отношению к изготовленным из проката или поковок за счет использования в технологическом процессе их изготовления отходов производства в виде прибыльных надставок, литниковых систем, продуктов механической обработки и т.п.;
- возвращение дорогостоящих легирующих компонентов в производственный процесс при изготовлении литых вставок штампов методами индукционной или электродуговой плавки;
- перспективность использования литейных технологий при изготовлении вставок штампов с точки зрения экономии материалов, энергетических затрат и увеличения выхода годного металла.

Изготовление литых заготовок из стали 5ХНМБЛ методом переплава на установке ЭШП в период освоения планируется в объеме 165 т.

### **Заключение**

Разработаны технологические процессы изготовления литых вставок штампов из новой стали 5ХНМБЛ, изготовлены опытные образцы, исследованы их микроструктура и свойства. На основании полученных результатов сделаны следующие основные выводы:

1. Отличительными особенностями структуры стали 5ХНМБЛ электродуговой плавки являются:

– стабильно мелкое зерно (на уровне восьмого-десятого балла), сохраняющееся в процессе изготовления сменной штамповой оснастки и ее эксплуатации;

– устойчивая к распаду при термической обработке и эксплуатации штампового инструмента эвтектическая составляющая его структуры на основе карбидов ниобия, обеспечивающая эксплуатационную стойкость вставок штампов на уровне 2000–2200 циклов штамповки, что соответствует стойкости вставок штампов, изготовленных из проката.

2. Установлена положительная роль ниобия в формировании структуры литой штамповой стали 5ХНМБЛ, состоящая в образовании при затвердевании и дальнейшем охлаждении литой заготовки дисперсных включений тугоплавких карбидов ниобия, блокирующих рост аустенитного зерна на уровне 7–9 балла. Сформированная мелкозернистая структура, сохраняющаяся при термической и деформационной обработке штамповых вставок по запатентованной технологии, а также формообразование гравюры при деформационной обработке штампа способствуют получению вставок штампов, имеющих стойкость не ниже, чем при их изготовлении из проката стали 5ХНМ.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Позняк, Л.А. Штамповые стали / Л.А. Позняк, Ю.М. Скрынченко, И.М. Тишаев. – Металлургия, 1980. – С. 67
2. Литейная штамповая сталь/ Л.Р. Дудецкая [и др.] // Патент РБ №18 273 от 30.06.2014 г.
3. Дудецкая, Л.Р. Материалы и технологии использования литого штампового инструмента / Л.Р. Дудецкая, Ю.Г. Орлов. – Минск: Беларуская Навука, 2010. – 171 с. – ISBN 978-985-08-1197-4.
4. ГОСТ 9454-78. Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах.
5. Дудецкая, Л.Р. Технологические возможности повышения эксплуатационной стойкости литой штамповой оснастки / Л.Р. Дудецкая, Ю.Г. Орлов // Изв.НАН Беларуси. Сер.физ.-техн.наук.– 2005. – № 1. – С. 20–24.

### **REFERENCES**

1. Poznyak L.A., Skrynchenko Yu.M. Shtampovye stali [Stamped steel]. Tishaev I.M.: Metallurgy, 1980, p. 67
2. Foundry stamp steel. Patent of the Republic of Belarus №.18 273 dated June 30, 2014. Authors: Dudetskaya L.R., Emelyanovich I.V., Karas A.N., Afanasiev S.N.
3. Dudetskaya L.R., Orlov Yu.G. Materialy i tekhnologii ispol'zovaniya litogo shtampovogo instrumenta [Materials and technologies for the use of a die tool]. Minsk: Belarus. Navuka, 2010, 171 p. ISBN 978-985-08-1197-4.
4. GOST 9454-78. Metals. Test method for impact bending at low, ambient and elevated temperatures.
5. Dudetskaya L.R., Orlov Yu.G. Tekhnologicheskie vozmozhnosti povysheniya ehkspluatacionnoj stojkosti litoj shtampovoj osnastki [Technological possibilities of increasing the operational durability of die casting equipment]. Izv.NAN Belarus. Ser.fiziko-technical science, 2005, №1, pp. 20-24.

*Статья поступила в редакцию в окончательном варианте 29.05.18*