

**Е. В. Ромашков\*, С. Е. Крылова, О. А. Ромашкова**

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

\*evgeniyromashkov@yandex.ru

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛЕЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРЕСС-ФОРМ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ**

Приведен сравнительный анализ сложнолегированных сталей инструментального класса в целях замены штамповой стали 4Х4МВФС, применяемой в настоящее время для изготовления пуансона машины литья под давлением на более перспективную разработанную сталь 70Х3Г2ФТР. Проведены механические испытания исследуемых сталей после термической обработки.

*Ключевые слова:* штамповая сталь, микролегирующий комплекс, термическое упрочнение, пресс-форма литья под давлением, излом.

**E. V. Romashkov, S. E. Krylova, O. A. Romashkova**

## **INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF STEELS FOR THE MANUFACTURE OF MOLDS OF INJECTION MOLDING**

A comparative analysis of complex alloyed steels tool class to replace 4X4 MBFC die steels, currently used for the manufacture of the punch machine die casting for the more promising of the developed steel 70X3 Г2 ФТР. Mechanical tests of the investigated steels after heat treatment were carried out.

*Key words:* die steel, micro-alloying complex, thermal hardening, injection molding mold, fracture.

**П**ри эксплуатации пуансона на машине литья под давлением произошло разрушение его центральной части под воздействием критических напряжений. Изучение механизма разрушения и поверхности излома стали 4Х4МВФС показало, что в общем виде излом имеет ступенчатый характер разрушения, образовавшийся при соединении двух микроповерхностей разрушения, расположенных на разных уровнях, — рис. 1, б.

Отчетливо видны линии излома, расходящиеся от очага разрушения и фронта трещины на определенной стадии нагружения при температуре эксплуатации пуансона из стали 4Х4МВФС в интервале 350–380 °С.

Поверхность разрушения представляет собой сочетание волокнистого и кристаллического изломов, переходящих из одного в другой, в зависимости от температуры нагрева пуансона при эксплуатации.

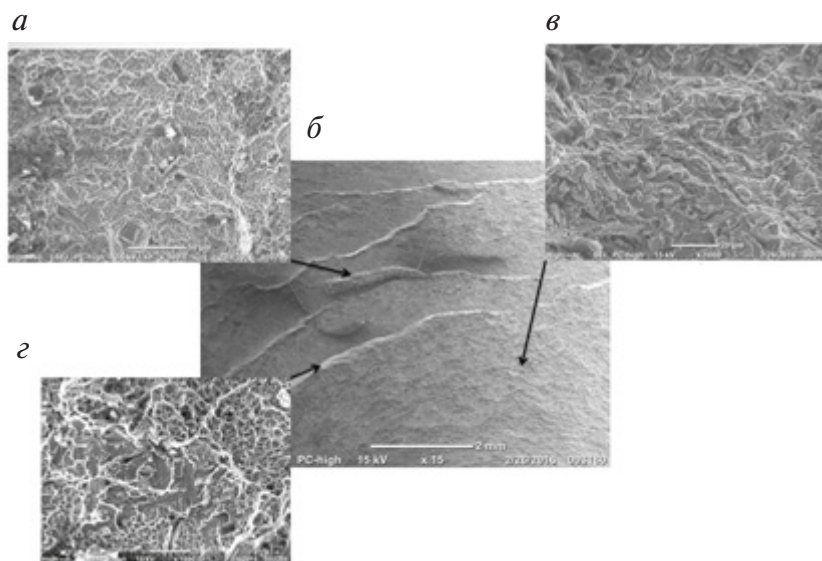


Рис. 1. Фрактографические признаки излома пуансона из стали 4X4МВФС при температуре эксплуатации 350 °С:

*а* — общий вид излома, РЭМ  $\times 15$ ; *б* — переходная зона излома, РЭМ  $\times 500$ ; *в* — общая поверхность излома, РЭМ  $\times 1000$ ; *г* — внутризеренное разрушение, РЭМ  $\times 1000$

Большая поверхность излома (70 %) представляет собой землистый излом, рис. 1, *в*. Землистый излом отличается округлой формой пор, обусловленных выходом газов из металла и наличием несплошностей в виде прожилок. При наличии землистого излома резко снижаются прочностные характеристики и пластические свойства металла. Зона 3 (рис. 1, *г*) состоит из поверхности фасеток с ямочным рельефом. Ямки имеют неправильную форму, что объясняется напряженным состоянием.

На инструментированном маятниковом копере Tinius Olsen экспериментально получены значения ударной вязкости сравниваемых сталей 70X3Г2ФТР [1] и 4X4МВФС. Для того чтобы пуансон машины литья, под давлением работающий в условиях предприятия, выдерживал повышенные термические и ударные нагрузки, проводились испытания при высоких температурах, приближенных к условиям предприятия.

Значения ударной вязкости и фрактографические особенности строения излома термообработанной стали 4X4МВФС при повышенной температуре 350 °С представлены на рис. 2.

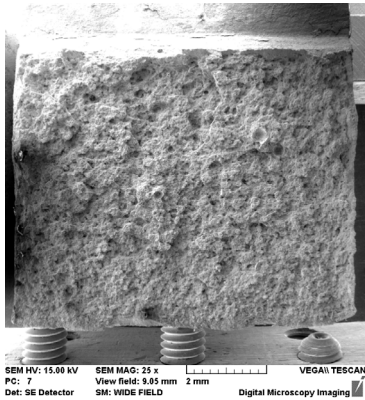
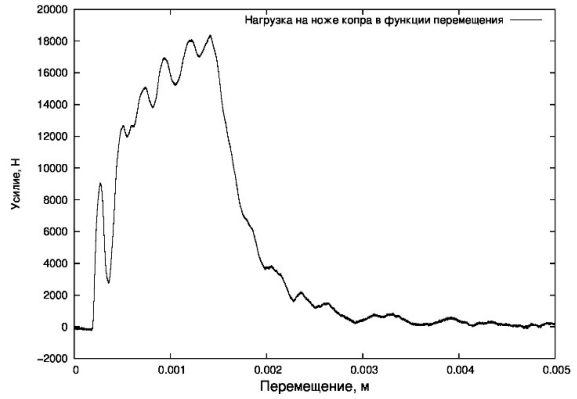
*a**б*

Рис. 2. Сталь 4X4VMFC при 350 °С (закалка в масле при температуре 1000 °С; отпуск 550 °С выдержка 3 ч; A = 12,06 Дж (12,92 Дж), KCU = 156 кДж/м<sup>2</sup>):

*a* — поверхность излома; *б* — диаграмма разрушения

Большая поверхность излома (70 %) представляет собой землистый излом. Данная поверхность разрушения имеет многочисленные окисления и неокисленные поры. Землистый излом отличается округлой формой пор, обусловленных выходом газов из металла и наличием несплошностей в виде прожилок. При наличии землистого излома резко снижаются прочностные характеристики и пластические свойства металла.

Значения ударной вязкости и фрактографические особенности строения излома термообработанной стали 70X3Г2ФТР при температуре 350 °С представлены на рис. 3.

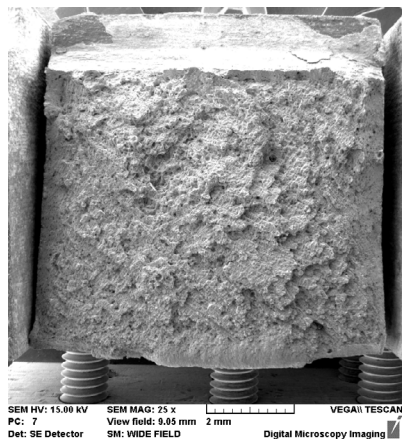
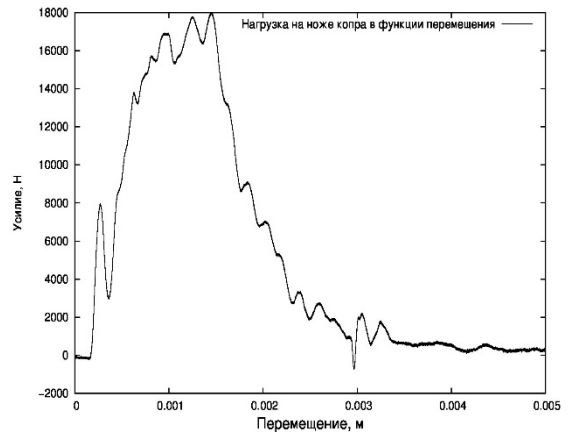
*a**б*

Рис. 3. Сталь 70X3Г2ФТР при 350 °С (закалка в масле при температуре 1000 °С; отпуск 550 °С выдержка 3 ч; KCU = 238 кДж/м<sup>2</sup>):

*a* — поверхность излома; *б* — диаграмма разрушения

Анализ диаграмм ударного нагружения исследованных образцов указывает на то, что зарождение трещины происходит вязко и сопровождается определенной пластической деформацией, а дальнейшее распространение трещины происходит в условия преобладающего хрупкого разрушения. При этом, с повышением уровня общей работы разрушения и ударной вязкости, максимальная разрушающая нагрузка и величина прогиба существенно увеличиваются.

В завершении работы проводился сравнительный анализ исследуемых штамповых сталей и их аналогов [2], табл. 1.

Таблица 1

**Механические свойства аналогов инструментальных сталей**

Марка стали	Твердость, HRC	Предел прочности $\sigma_b$ , МПа	Ударная вязкость, КСУ, кДж/м <sup>2</sup>	Износостойкость, $K_{AC}$
4X5MC	48	1480	500	1,04
5XHM	39	1250	625	0,99
4X5MФС	52	1490	510	1,19
4X4МВФС	50	1350	450	1,34
70X3Г2ФТР	54	1590	510	2,75

На основе проведенных исследований определили упрочняющий режим термической обработки опытной стали ( $T_3 = 1000$  °С, масло;  $T_0 = 550$  °С, воздух), сравнили механические свойства применяемой в данное время стали марки 4X4МВФС и предлагаемой на замену стали марки 70X3Г2ФТР. Опытная сталь отличается пониженным содержанием хрома и микролегирующим комплексом, отличным от стали марки 4X4МВФС. Микролегирующий комплекс стали марки 70X3Г2ФТР (W–Ti–V) при содержании углерода 0,67 способствует формированию вязкой металлической основы, удерживающей дисперсные карбидные включения, формирующиеся на стадии термического упрочнения, что обеспечивает высокие значения механических свойств, теплостойкости и эксплуатационной стойкости штампового инструмента, что позволяет рекомендовать этот комплекс к внедрению и замене им традиционных штамповых сталей как более перспективный [3].

*Работа выполнена в рамках областного гранта в сфере научной и научно-технической деятельности в номинации «Грант для финансирования перспективных научных исследований и создания промышленных образцов машин, оборудования и продукции организациям, осуществляющим инновационную деятельность» на выполнение инновационного проекта «Раз-*

*работка импортзамещающих сталей с заданными свойствами для металлургического производства Оренбургского региона», также в рамках областного гранта в сфере научной и научно-технической деятельности в номинации «Грант для финансирования поддержки инновационных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ аспирантов», на выполнение проекта «Разработка оптимального химического состава и технологии упрочнения стали для производства штампов горячего деформирования» и при поддержке Фонда содействия инновациям (договор № 12422ГУ/2017 от 27.02.2018).*

#### **ЛИТЕРАТУРА**

- 1 Инструментальная сталь для горячего деформирования : пат. 2535148 РФ. Крылова С. Е., Каманцев С. В., Соколов С. О. Оpubл. 20.07.2014.
- 2 Ромашков Е. В., Крылова С. Е. Разработка составов и способов термической обработки инструментальных сталей с микролегирующим комплексом, предназначенных для тяжело нагруженных изделий машиностроения. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. 713 с.
- 3 Krylova S. E., Romashkov E. V., Kuznetsov A. V. Peculiarities of Thermal Hardening of Experimental Sparingly-Alloy Tool-Class Steels // Materies Engineering and Technologies for Production and Processing II. Materials Science Forum. V. 870. 2016. P. 392–396.