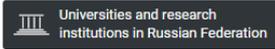




## Chernye Metally

#### COUNTRY

Russian Federation



#### SUBJECT AREA AND CATEGORY

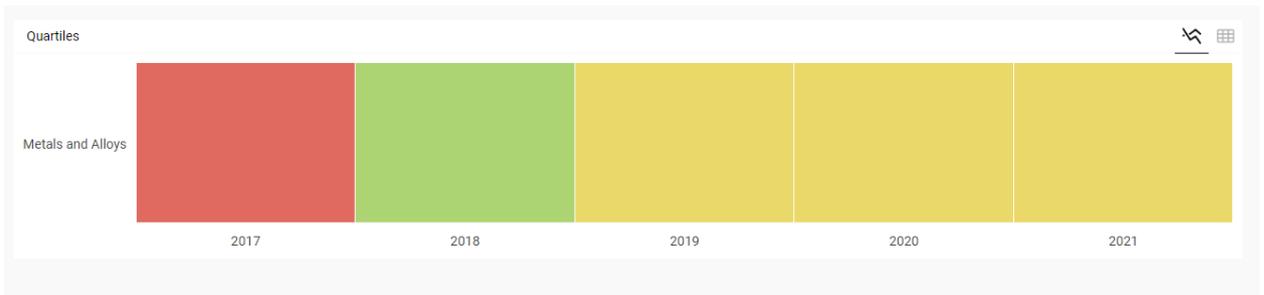
Materials Science  
└ Metals and Alloys

#### PUBLISHER

Ore and Metals Publishing house

#### H-INDEX

**12**



ISSN 0132-0890  
www.rudmet.ru

# Черные металлы

Издается с 1961 года  
(№ 1089)

9.2022



*Тема номера:  
80 лет Самарскому  
университету им. С.П. Королева  
и 70 лет его кафедре технологии  
металлов и авиационного  
материаловедения (стр. 32-48).*

# ЧЕРНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Издательский дом  
«Руда и Металлы»

№ 9 (1089), сентябрь 2022 г.

Издается с 1961 г.

Ежемесячный научно-технический и производственный журнал  
по актуальным проблемам металлургии и машиностроения

#### Учредители:

Акционерное общество  
«Издательский дом  
«Руда и Металлы»

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Национальный исследовательский  
технологический университет «МИСиС»

Федеральное бюджетное автономное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г. И. Носова»

#### При участии:

ПАО «ММК»  
ОАО «БМЗ — управляющая компания холдинга «БМК»  
Государственного Эрмитажа

Официальный информационный орган  
Федерального УМО  
«Технологии материалов»

#### Редакционный совет:

Главный редактор: В. М. Колокольцев  
Первый зам. главного редактора: К. Л. Косырев  
Зам. главного редактора: А. Г. Воробьев, Е. В. Цирульников  
А. М. Беленький, В. Блек (Германия), Ю. Л. Бобарикин (Беларусь), О. И. Борискин, И. В. Буторина,  
Р. М. Валеев, Е. П. Волынкина, А. В. Выдрин, С. П. Галкин, Е. А. Голи-Оглу (Дания), Я. М. Гордон (Канада),  
Д. Г. Еланский, Н. А. Зюбан, И. Е. Илларионов, Л. М. Капуткина, А. А. Казаков, А. П. Коликов,  
А. Г. Корчунов, А. В. Кушнарв, И. О. Леушин, И. П. Мазур, Т. Н. Матвеева, А. Е. Пелевин,  
Ю. Ю. Пиотровский, И. М. Потравный, А. Н. Савенок (Беларусь), А. В. Серебряков, Е. Ю. Сидорова,  
И. А. Султангузин, С. С. Ткаченко, А. Я. Травянов, Н. А. Чиченев, М. В. Чукин, П. Шеллер (Германия),  
Е. А. Яценко

#### Редакция:

Зам. главного редактора: Е. В. Цирульников  
Ответственный секретарь: Е. Ю. Рахманова

Издатель — АО «Издательский дом «Руда и Металлы»  
Адрес издателя: 119049, Москва, Ленинский просп., 6,  
стр. 2, МИСиС, оф. 622

#### Адрес редакции:

фактический: 119049, Москва, Ленинский проспект 6,  
стр. 2, МИСиС, оф. 617  
почтовый: 119049, Москва, а/я № 71  
Телефон/факс: (495) 955-01-75  
Эл. почта: chernet@rudmet.ru, tsirulnikov@rudmet.ru

www.rudmet.ru

Ежемесячный научно-технический и производственный журнал  
по актуальным проблемам металлургии и машиностроения  
«Черные металлы» № 9 (1089), сентябрь 2022 г.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере  
связи, информационных технологий и массовых коммуникаций  
(Свидетельство ПИ № ФС77-48681 от 28.02.2012 г.)

Товарный знак и название «Черные металлы» являются исключительной  
собственностью Издательского дома «Руда и Металлы»

Отпечатано с предоставленных готовых файлов  
в типографии «Канцлер»  
150044, Россия, Ярославль, ул. Полушкина Роща, 16. стр. 66А.  
Тел. (4852) 58-76-33

Дата выхода в свет: 10.10.2022. Формат 60x90/8.  
Печ. л. 10,5. Offsetная печать. Бумага offsetная.  
Тираж 800 экз. Цена свободная

За достоверность рекламной информации ответственность несет рекламодатель  
За достоверность научно-технической информации ответственность несет автор  
Перепечатка материалов возможна только с письменного разрешения редакции  
При перепечатке ссылка на «Черные металлы» обязательна  
«Реклама» — материал публикуется на правах рекламы  
Публикуемые материалы не обязательно отражают точку зрения редакции  
и редсовета журнала

ISSN 0132-0890



9 770132 089006 >

Подписной индекс:  
12985 («Пресса России»)

## СОДЕРЖАНИЕ

### Агломерация

- Д. В. Федоренко, А. А. Воротынцев, Э. М. Щеглов, В. И. Искалин.* Способ повышения прочности агломерата за счет улучшения окомкования шихты . . . . . 4
- А. И. Насифуллина, Р. Р. Габдулхаков, В. А. Рудко, И. Н. Пягай.* Нефтяная коксующаяся добавка — сырьевой компонент для получения металлургического кокса.  
Часть 1. Формирование спекающих свойств нефтяной коксующейся добавки (обзор) . . . . . 13

### Прокатка и другие процессы ОМД

- Ю. Н. Логинов, С. К. Грехов.* Кинематика заполнения штампа при высадке головки стального самонарезающего винта . . . . . 21

### Производство труб

- А. В. Выдрин, Д. Н. Лысов, Е. Н. Кондратьев, А. А. Пузиков.* Реализация расчетно-аналитического метода нормирования расхода металла при производстве бесшовных горячедеформированных труб в условиях АО «ТАГМЕТ» . . . . . 26

### 70 лет кафедре технологии металлов и авиационного материаловедения

#### Самарского НИУ им. С. П. Королева

- С. В. Коновалов, Е. А. Носова.* Юбилей Самарского университета и кафедры технологии металлов и авиационного материаловедения . . . . . 32
- Д. В. Жуков, А. А. Мельников, С. В. Коновалов, М. О. Дмитриева.* Причины образования поперечных трещин на продольном сварном шве трубы магистрального газопровода . . . . . 34
- О. С. Бондарева, О. С. Добычина, А. А. Мельников, С. В. Коновалов.* Фрактографический анализ особенностей разрушения пробивного пуансона и профилигибочного ролика из стали X12МФ . . . . . 39
- К. К. Чаплыгин, С. В. Воронин.* Влияние длительного термоциклического воздействия в коррозионной среде на изменение свойств и микроструктуры чугуна СЧ20 . . . . . 45

### Металловедение и физика металлов

- В. Ф. Петрова, С. О. Гевлич, Е. А. Пожилова.* Исследование изменений в структуре жаропрочного железосодержащего хромоникелевого сплава в результате длительной эксплуатации . . . . . 49
- С. А. Зайдес, Хо Минь Куан.* Внеконтактная деформация при маятниковом поверхностном пластическом деформировании конструкционной стали . . . . . 55
- Н. Г. Колбасников, Н. В. Жуков, С. А. Кузин, В. С. Тетерятников.* О роли карбонитридов в формировании зерна аустенита при непрерывной горячей прокатке трубной стали . . . . . 61

### Экология

- И. В. Буторина, М. В. Буторина.* Наилучшие доступные технологии по снижению шума в черной металлургии . . . . . 70
- О. С. Нуржанов, А. Л. Петелин, А. С. Нуржанов, Л. А. Полулях.* Анализ зоны распространения и расчет полей концентраций в атмосфере выбросов мелкодисперсной пыли доменной печи № 4 ОАО «НЛМК» . . . . . 76

### Из истории металлургии

- Е. С. Тараканова.* Второе рождение Ижорских заводов . . . . . 82

Журнал «Черные металлы» по решению ВАК Министерства образования и науки РФ включен в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук» по металлургии

Журнал «Черные металлы» включен в Международную базу данных Chemical Abstracts Service

Журнал «Черные металлы» включен в Международную базу данных Scopus, II квартал (2021)

(по версии SCIMAGO)

# Фрактографический анализ особенностей разрушения пробивного пуансона и профилегибочного ролика из стали X12МФ

**О. С. Бондарева**, доцент кафедры технологии металлов и авиационного материаловедения<sup>1</sup>, канд. техн. наук, эл. почта: osbond@yandex.ru

**О. С. Добычина**, аспирант кафедры технологии металлов и авиационного материаловедения<sup>1</sup>

**А. А. Мельников**, доцент кафедры технологии металлов и авиационного материаловедения<sup>1</sup>, канд. техн. наук

**С. В. Коновалов**, главный научный сотрудник лаборатории ОНИЛ-4<sup>1</sup>, проректор по научной и инновационной деятельности<sup>2</sup>, докт. техн. наук, профессор, эл. почта: Konovarov@sibsiu.ru

<sup>1</sup> Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева, Самара, Россия.

<sup>2</sup> Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия.

Исследованы пробивной пуансон и профилегибочный ролик из стали X12МФ, разрушенные в процессе эксплуатации. Методом искровой спектрометрии установлено, что сталь отвечала требованиям нормативной документации по химическому составу. Металлографические исследования показали, что структура стали представляет собой мелкоигольчатый мартенсит с выделениями карбидов разной величины по границам зерен. Методом энергодисперсионного рентгеноспектрального микроанализа в структуре стали обнаружены сульфиды, наличие которых является характерным для этого типа стали. Фрактографический анализ изломов позволил определить место зарождения первоначальной трещины и характер последующего разрушения инструмента. Установлено отклонение геометрии пуансона от чертежа, его рабочая поверхность имеет односторонний уклон. Это привело к неравномерным боковым напряжениям и хрупкому разрушению опорной поверхности пуансона. На рабочей поверхности профилегибочного ролика обнаружены следы износа и поперечные трещины, вызванные высокими контактными напряжениями в совокупности с разницей относительных скоростей поверхности ролика и заготовки. Развитие магистральных трещин в радиальном направлении ролика привело к его усталостному разрушению. Измерения твердости пуансона и ролика методом Роквелла выявили отклонение значений от нормативной документации. Обнаружено, что у пуансона повышена твердость, что увеличивает хрупкость инструмента и снижает его сопротивление ударным нагрузкам. Твердость рабочей поверхности ролика снижена, что приводит к уменьшению прочностных характеристик инструмента. Таким образом, разрушение инструмента было вызвано неравномерным действием рабочих напряжений в совокупности с нарушением рекомендаций по твердости инструмента.

**Ключевые слова:** инструментальная сталь, X12МФ, деформирующий инструмент, фрактография, растровая электронная микроскопия, хрупкий излом, усталостное разрушение.

**DOI:** 10.17580/chm.2022.09.06

## Введение

Износ и разрушение инструмента являются одним из главных препятствий для повышения производительности оборудования. Исследование причин разрушения инструмента всегда включает в себя изучение поверхности разрушения микроструктуры материала [1–4].

Факторы, влияющие на стойкость и продолжительность эксплуатации инструмента, делят на четыре группы: технологические, конструктивные, металлургические и эксплуатационные. К группе металлургических факторов относят химический состав материала, из которого изготовлен инструмент, а также способ изготовления заготовки для инструмента. Конструктивными факторами являются метод деформирования, форма и размер инструмента. Технологический фактор включает в себя способы изготовления, термической обработки и др. К эксплуатационным факторам относят условия подогрева инструмента и вид смазки, температуру деформирования, степень деформации [5–7].

Для изготовления «холодных» штампов и профилегибочного инструмента широкое применение получили

высокохромистые стали типа X12 (11–13 % Cr при 1,4–2,5 % C), обладающие повышенной теплопроводностью, высокой износостойкостью, малой деформируемостью при термической обработке и рядом других особых свойств [8–10]. В сталях этого класса в большом количестве присутствуют карбиды  $Cr_7C_3$  в связи с повышенным содержанием углерода и хрома. Именно большое количество карбидной фазы делает эту сталь высокоизносостойчивой. Однако повышенное содержание карбидов хрома приводит к росту карбидной неоднородности, которая вызывает снижение прочности и вязкости и, как следствие, образование трещин и хрупкое разрушение инструмента [11, 12]. Ряд исследований направлен на подбор режимов термической, термохимической и поверхностной обработки инструмента для увеличения ресурса его работы [13–20]. Таким образом, повышенная износостойкость высокохромистых инструментальных сталей в настоящее время не реализуется из-за значительной карбидной неоднородности и склонности к появлению дефектов (трещин). В связи с этим актуальным является

анализ причин появления дефектов и выделение отдельных факторов, воздействие на которые позволит свести к минимуму вероятность образования дефектов.

Целью данной работы является исследование причин и механизма разрушения пробивного пуансона и профилигибочного ролика из стали X12МФ.

### Методика исследования

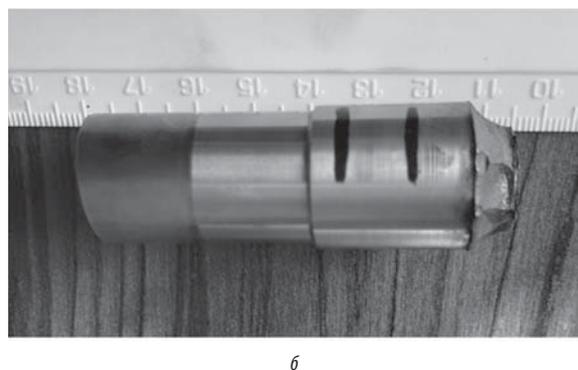
Для исследования особенностей разрушения инструмента из стали X12МФ были выбраны пробивной пуансон и ролик 20-клетевого профилигибочного стана, предназначенного для промышленного получения профиля дорожного ограждения в ОАО «Завод Продмаш». Химический анализ стали определяли на спектрометре Oxford Foundry-Master

методом искровой спектрометрии. Для определения причин разрушения поверхность излома и прилегающие участки, а также микроструктуру исследовали при помощи сканирующего электронного микроскопа TESCAN VEGA SB. Элементный анализ включений проводили при помощи энергодисперсионного рентгеновского анализатора INCA X-act [21]. Величину твердости торцевой, рабочей и боковой поверхностей измеряли по методу Роквелла при помощи твердомера Novotest.

### Результаты исследований и их обсуждение

#### Исследование пробивного пуансона

На исследование поступил пробивной пуансон с разрушением (сколом) краев опорной поверхности (**рис. 1**).

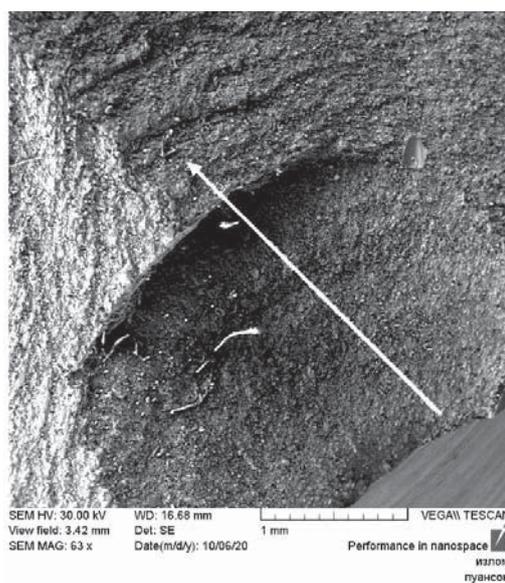
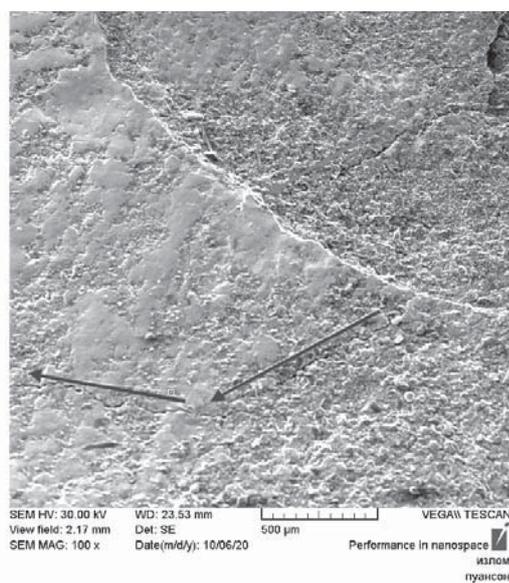


**Рис. 1.** Пробивной пуансон: а — чертеж; б — внешний вид

Таблица 1

#### Химический состав образца, %

	Fe	C	Si	V	Cr	Mn	Ni	Mo	P	S
ГОСТ 5950-73 [22]	~84	1,45-1,65	0,1-0,4	0,15-0,3	11,0-12,5	0,15-0,45	<0,35	0,4-0,6	<0,03	<0,03
Результат анализа	83,85	1,47	0,42	0,25	12,66	0,25	0,37	0,69	0,02	0,02



**Рис. 2.** Излом: а — место зарождения трещины, зона смятия поверхности разрушения; б — распространение трещины от поверхности к центру пуансона

Рабочая поверхность пуансона имеет односторонний угол наклона, что не соответствует чертежу. Установлено, что химический состав пуансона соответствует марке Х12МФ по ГОСТ 5950–73 [22] (табл. 1).

Изучение излома при помощи сканирующего электронного микроскопа позволило определить начало разрушения (рис. 2).

Место зарождения первоначальной трещины лежит на внешней цилиндрической поверхности пуансона. Распространение трещины происходило от внешней поверхности к центру пуансона за некоторое время, на что указывает смятие поверхности разрушения (см. рис. 2, а). Поверхность разрушения имеет мелкозернистую матовую структуру, характерную для механизма хрупкого разрушения. Дальнейшее разрушение пуансона происходило в результате образования новых очагов зарождения трещин и их распространения от поверхности к центру пуансона (см. рис. 2, б).

Первоначальная трещина находится со стороны, противоположной началу деформации пробивкой, что означает сильное влияние боковых усилий на развитие процесса разрушения. Неравномерность боковых усилий, вероятно, вызвана односторонней заточкой пуансона.

Величина твердости торцевой поверхности пуансона, измеренная по методу Роквелла, соответствует закалке и низкому отпуску и составляет 60–61 HRC. Твердость боковой поверхности пуансона составляет 60–63 HRC, что превышает твердость 57–59 HRC, заданную по чертежу.

Исследования показали, что микроструктура пуансона представляет собой мелкоигльчатый мартенсит

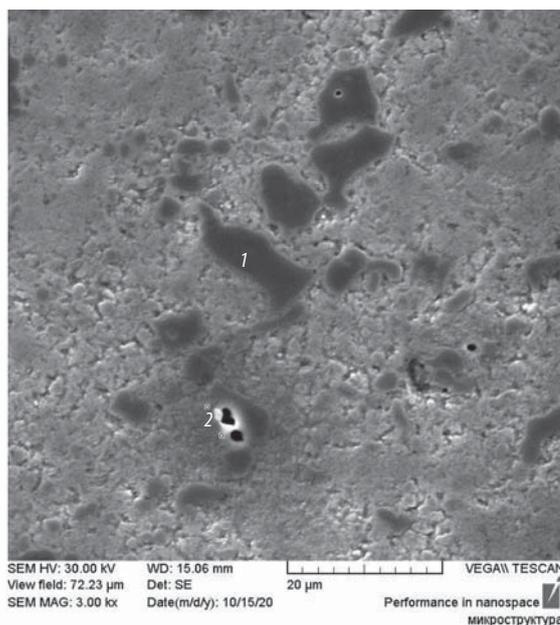


Рис. 3. Микроструктура пуансона: 1 — карбиды; 2 — сульфиды

Таблица 2

Элементный состав областей, показанных на рис. 3, %

Область	C	S	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Mo
1	11,02		1,44	46,30		39,68		1,55
2		4,02	0,44	17,00	14,41	63,83	0,30	

Таблица 3

Химический состав образца, %

	Fe	C	Si	V	Cr	Mn	Ni	Mo	P	S
ГОСТ 5950–73 [22]	~84	1,45–1,65	0,1–0,4	0,15–0,3	11,0–12,5	0,15–0,45	до 0,35	0,4–0,6	до 0,03	до 0,03
Результат анализа	83,79	1,51	0,35	0,25	13,00	0,31	0,15	0,58	0,02	0,04



а



б

Рис. 4. Внешний вид ролика: а — отделенные фрагменты излома; б — рабочая поверхность

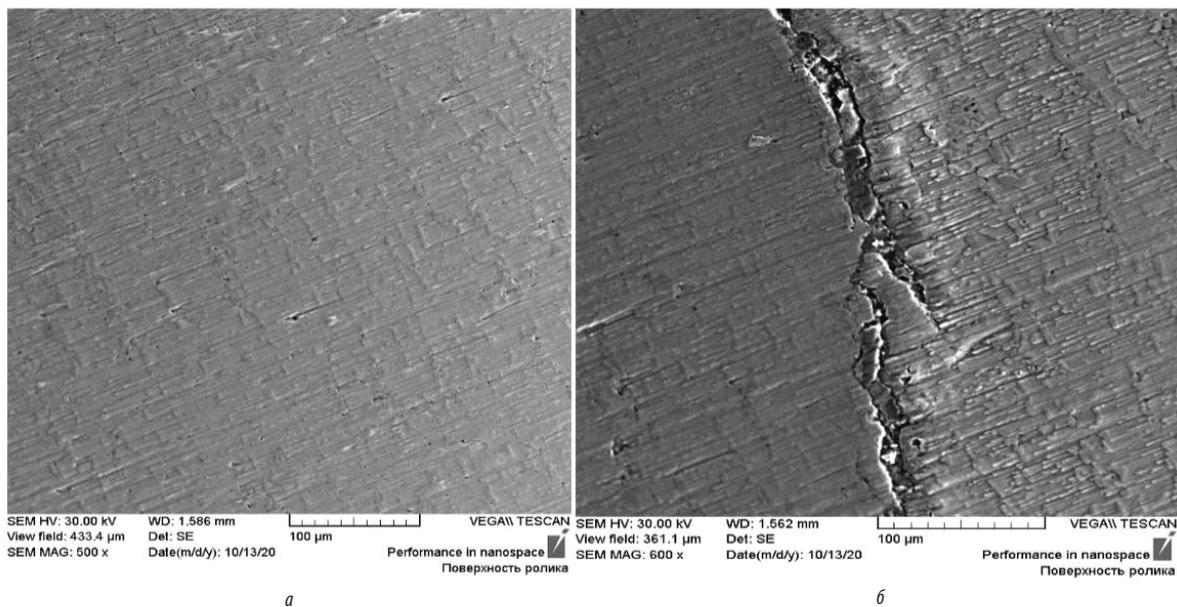


Рис. 5. Дефекты рабочей поверхности ролика: а — следы износа; б — поперечные трещины

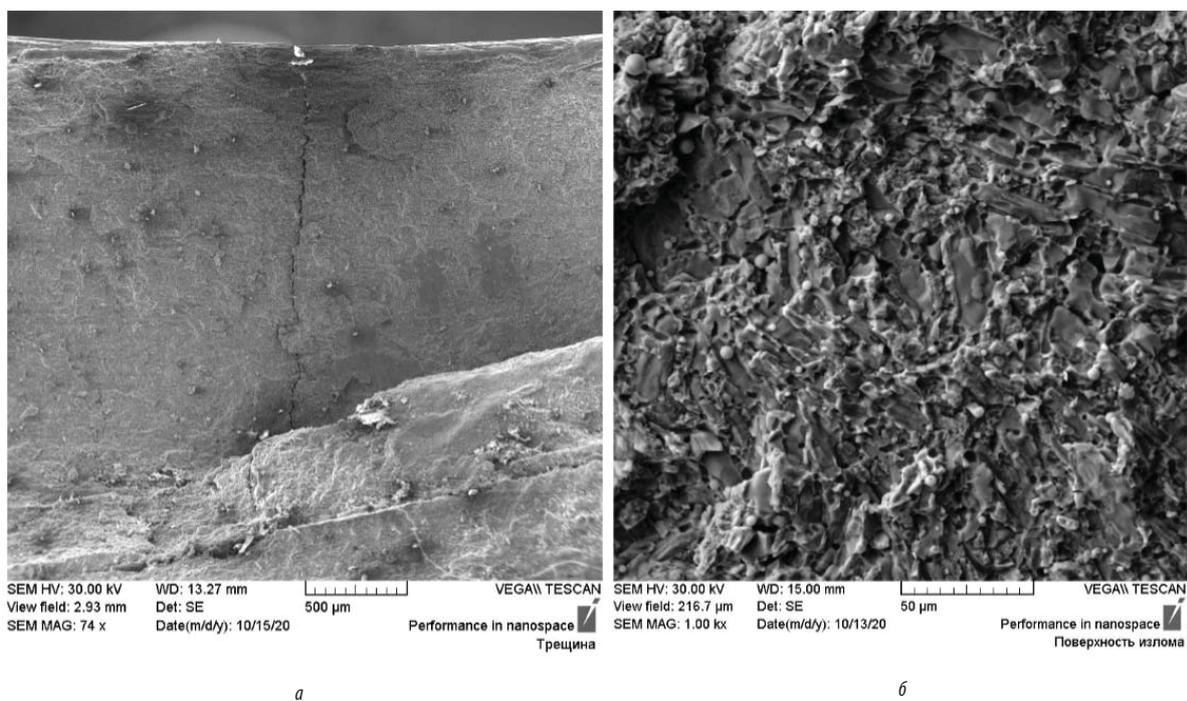


Рис. 6. Излом ролика,  $\times 1000$ : а — трещина в поперечном сечении ролика; б — излом

с выделениями карбидов различной величины по границам зерен. Наряду с крупными карбидами в структуре наблюдаются включения сульфидов, что характерно для этой марки стали (рис. 3).

Элементный анализ включений представлен в табл. 2.

На основании фрактографии и анализа микроструктуры можно сделать вывод, что неравномерные боковые усилия при пробивке в совокупности с завышенной твердостью привели к хрупкому разрушению опорной поверхности пуансона.

#### Исследование ролика

Профилегибочный ролик изготовлен из стали X12МФ, что подтверждает результат искровой спектрометрии (табл. 3).

Визуальный осмотр ролика показал, что на рабочей поверхности наблюдаются множественные трещины, расположенные по образующей цилиндра (рис. 4, б). Одна из таких трещин привела к развитию радиального излома (см. рис. 4, а).

Исследования рабочей поверхности ролика показали наличие следов износа в виде царапин в центральной части, расположенных в направлении проката (рис. 5, а). Это свидетельствует о растягивающих напряжениях на поверхности ролика, которые привели к развитию поперечных трещин, переходящих в глубокие магистральные (см. рис. 5, б).

Анализ поверхности излома показывает ступенчатое развитие разрушения, а также наличие глубоких поперечных трещин (рис. 6, а). Фрактографический анализ при больших увеличениях показал, что излом соответствует усталостному разрушению (см. рис. 6, б).

Микроструктура ролика представляет собой мелкоигольчатый мартенсит с выделениями карбидов различной величины. Карбидная неоднородность носит строчечный направленный характер.

Величина твердости торцевой поверхности ролика, измеренная по методу Роквелла, соответствует закалке и низкому отпуску и составляет 59–61 HRC. Твердость рабочей поверхности ролика составляет 57–59 HRC, что несколько меньше твердости 59–61 HRC, заданной по чертежу. Некоторое снижение твердости рабочей поверхности ролика можно объяснить погрешностью измерений в связи с наличием микротрещин.

Таким образом, анализ характера разрушения позволяет сделать вывод об износе поверхности ролика в результате трения при различии относительных скоростей движения поверхности ролика и деформируемой заготовки в совокупности с высокими контактными напряжениями. Это приводит к развитию магистральных трещин в радиальном направлении ролика и последующему усталостному разрушению. Также этому способствует недостаточная твердость рабочей поверхности.

### Заключение

В ходе проведенных исследований определены причины разрушения деформирующего инструмента из стали X12MФ. Установлено, что сталь отвечала требованиям нормативной документации по химическому составу, структуре и содержанию карбидов и сульфидов. Изучено строение изломов, полученных в результате разрушения пуансона и ролика. Разрушения были вызваны неравномерным действием рабочих напряжений: для пробивного пуансона — это неравномерные боковые напряжения, вызванные односторонним уклоном рабочей поверхности, а для профилировочного ролика — высокие контактные напряжения в совокупности с разницей относительных скоростей поверхности ролика и заготовки. Показано, что необходимо соблюдать рекомендуемую твердость инструмента. Повышенная твердость увеличивает хрупкость инструмента и снижает его сопротивление ударным нагрузкам. Сниженная твердость приводит к уменьшению прочностных характеристик инструмента.

Рекомендуется изготавливать пробивной пуансон с двусторонним уклоном. Для уменьшения контактных напряжений профилировочные ролик с меньшим диаметром желательнее освобождать от закрепления на валу за счет шпонки. Данные рекомендации успешно реализованы в ОАО «Завод Промаш».

ЧМ

### Библиографический список

1. Фридман Я. Б. Строение и анализ изломов металлов. — М.: Машгиз, 1960. — 128 с.
2. Григоренко В. Б., Морозова Л. В. Применение фрактографического анализа для определения причин разрушения изделий из среднеуглеродистых сталей // Труды ВИАМ. 2018. № 8 (68). С. 98–111.
3. Mecholsky J. J., DeLellis D. P., Mecholsky N. A. Relationship between fractography, fractal analysis and crack branching // Journal of the European Ceramic Society. 2020. Vol. 40, Iss. 14. P. 4722–4726.
4. Nukui Y., Kubozono H., Kikuchi S., Nakai Y., Ueno A., Kawabata M.O., Aneyama K. Fractographic analysis of fatigue crack initiation and propagation in CP titanium with a bimodal harmonic structure // Materials Science and Engineering: A. 2018. Vol. 716. P. 228–234.
5. Быстров В. А., Дьяков П. К., Уманец А. Г. Условия эксплуатации и износ валков прокатного стана горячего металла // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2014. № 5. С. 24–29.
6. Прозоров Я. С. Механизмы изнашивания инструментов при изготовлении изделий из древесных материалов. — Брянск: Изд-во БГИТА, 2018. — 25 с.
7. Болобов В. И. Закономерности разрушения материала ударника при повторяющихся единичных ударах // Записки Горного института. 2018. Т. 233. С. 525–533.
8. Околович Г. А. Штамповые стали для холодного деформирования металлов. — Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010. — 202 с.
9. Бондарь О. В. Технологические особенности применения инструментальных высокохромистых штамповых сталей холодного деформирования в машиностроении // Актуальные проблемы в машиностроении. 2015. № 2. С. 386–390.
10. Корнилова А. В. Новые подходы к выбору инструментальных сталей для холодной листовой штамповки // Вестник МГТУ «Станкин». 2010. № 1 (9). С. 61–65.
11. Тюрин Н. Ф., Кирильченко П. Н., Фомицкий Е. И., Бочек А. П., Рубец А. С. Уменьшение карбидной неоднородности сталей типа X12MФ для сварочных валков // Сталь. 2007. № 1. С. 69–74.
12. Корнилова А. В. Особенности разрушения инструментальной стали X12MФ // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2015. № 6. С. 33–41.
13. Сотова Е. С., Якушкова А. И. Выбор оптимального режима термической обработки штампового инструмента из стали X12MФ для операций холодного деформирования // Автоматизация и управление в машиностроении. 2018. № 1 (30). С. 1–9.
14. Степанкин И. Н., Поздняков Е. П., Куус Д. В. Контактное изнашивание полутеплостойких штамповых сталей X12M и X12MФ с поверхностно-модифицированным слоем // Трение и износ. 2019. Т. 40. № 1. С. 5–11.
15. Степанкин И. Н. Учет закономерностей контактного изнашивания поверхностного слоя штампового инструмента с целью повышения его стойкости // Трение и износ. 2017. № 3 (38). С. 185–192.
16. Алифанов А. В., Горецкий Г. П., Цуран В. В., Богданович И. А., Толкачева О. А. Исследование влияния высокотемпературной термомеханической обработки на структуру и механические свойства сталей, применяемых для изготовления рубильных ножей // Технические науки. 2020. № 8. С. 10–16.
17. Смирнов А. Е., Плохих А. И., Рыжова М. Ю., Акинин А. Б., Боев С. В. Повышение стойкости чеканного инструмента из стали X12MФ проведением закалки в азоте высокого давления и термоциклирования // Металловедение и термическая обработка металлов. 2020. № 2 (776). С. 31–36.
18. Федосеев М. Е., Фомин А. А. Повышение эксплуатационных свойств инструментальной стали X12MФ методом электроискрового легирования // Перспективное развитие науки, техники и технологий: сб. статей. — Курск, 2019. С. 307–311.
19. Bepari M. M. A. Carburizing: a method of case hardening of steel // Comprehensive Materials Finishing. Elsevier. 2017. P. 71–106.
20. Sugawara Y., Inoue W., Muto I., Hara N. Methodology for fabrication of highly pitting corrosion-resistant type 304 stainless steel by plasma carburizing and post-pickling treatment // Journal of the Electrochemical Society. 2018. Vol. 165, Iss. 9. P. 441–449.
21. Григоренко В. Б., Морозова Л. В. Применение растровой электронной микроскопии для изучения начальных стадий разрушения // Авиационные материалы и технологии. 2018. № 1 (50). С. 77–87.
22. ГОСТ 5950–73. Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали. Общие технические условия. Введ. 01.01.2002.

"Chernye metally", 2022, No. 9, pp. 39–44  
DOI: 10.17580/chm.2022.09.06

### Fractographic analysis of fracture features of a slugger punch and profile bending roll made of Kh12MF steel

#### Information about authors

**O. S. Bondareva**, Cand. Eng., Associate Prof., Dept. of Metal Technology and Aviation Materials Science<sup>1</sup>, e-mail: osbond@yandex.ru;

**O. S. Dobychna**, Postgraduate Student, Dept. of Metal Technology and Aviation Materials Science<sup>1</sup>;

**A. A. Melnikov**, Cand. Eng., Associate Prof., Dept. of Metal Technology and Aviation Materials Science<sup>1</sup>;

**S. V. Kononov**, Dr. Eng., Prof., Chief Researcher, ONIL-4 Laboratory<sup>1</sup>, Vice-Rector for Research and Innovation<sup>2</sup>, e-mail: Kononov@sibsiu.ru

<sup>1</sup>Samara National Research University named after Academician S. P. Korolev, Samara, Russia.

<sup>2</sup>Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia.

**Abstract:** A slugger punch and a roll forming roller made of C1.5Cr12MoV steel destroyed during operation are studied. It was established by spark spectrometry that the steel was up to the requirements for the chemical composition. Metallographic studies have shown that the steel structure represents martensite with carbides precipitates along the grain boundaries. Typical of this steel grade sulfides were found in the structure by the method of energy-dispersive X-ray spectral microanalysis. Fractographic analysis of fractures made it possible to determine the location of the initial crack and the subsequent fracture nature of the tool. The punch geometry discrepancy to the drawing is established. Its working surface has a one-sided slope. This fact led to unequal lateral stresses and brittle fracture of the punch support surface. Wear marks and transverse cracks were found on the roller working surface. They are caused by high contact stresses in conjunction with the difference in relative speeds of the roller surface and the workpiece. The propagation of main cracks in the radial direction of the roller led to its fatigue failure. Measurements of the punch and roller hardness by the Rockwell method revealed a deviation of the values from the normative documentation. It is found that the punch has extra hardness, which increases the fragility of the tool and reduces its resistance to impact loads. The working surface hardness of the roller is lowered, which leads to a decrease in the strength characteristics of the tool. Thus, the destruction of the tool was caused by the uneven action of operating stresses in combination with a violation of the recommendations on the tool hardness.

**Key words:** tool steel, deforming tool, fractography, scanning electron microscopy, brittle fracture, fatigue failure.

#### References

1. Fridman Ya. B. Structure and analysis of metal fractures. Moscow: Mashgiz, 1960. 128 p.
2. Grigorenko V. B., Morozova L. V. The use of fractographic analysis to determine the causes of destruction of articles from medium carbon steels. *Trudy VIAM*. 2018. No. 8 (68). pp. 98–111.
3. Mecholsky J. J., DeLellis D. P., Mecholsky N. A. Relationship between fractography, fractal analysis and crack branching. *Journal of the European Ceramic Society*. 2020. Vol. 40, Iss. 14. pp. 4722–4726.

4. Nukui Y., Kubozono H., Kikuchi S., Nakai Y., Ueno A., Kawabata M. O., Ameyama K. Fractographic analysis of fatigue crack initiation and propagation in CP titanium with a bimodal harmonic structure. *Materials Science and Engineering: A*. 2018. Vol. 716. pp. 228–234.
5. Byistrov V. A., Dyakov P. K., Umanets A. G. Operating conditions and wear of rolls of a hot metal rolling mill. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Chernaya metallurgiya*. 2014. No. 5. pp. 24–29.
6. Prozorov Ya. S. Wear mechanisms of tools in the manufacture of articles from wood materials. Bryansk: Izdatelstvo BGITA, 2018. 25 p.
7. Bolobov V. I. Patterns of destruction of the impactor material during repeated single impacts. *Zapiski Gornogo instituta*. 2018. Vol. 233. pp. 525–533.
8. Okolovich G. A. Die steels for cold forming of metals. Barnaul: Izdatelstvo AltGTU, 2010. 202 p.
9. Bondar O. V. Technological features of the use of tool high-chromium die steels for cold deformation in mechanical engineering. *Aktualnye problemy v mashinostroenii*. 2015. No. 2. pp. 386–390.
10. Kornilova A. V. New approaches to the selection of tool steels for cold sheet forming. *Vestnik MGTU Stankin*. 2010. No. 1 (9). pp. 61–65.
11. Tyurin N. F., Kirilchenko P. N., Fomitskiy E. I., Bochek A. P., Rubets A. S. Reduction of the carbide inhomogeneity of Kh12MF type steels for welding rolls. *Stal*. 2007. No. 1. pp. 69–74.
12. Kornilova A. V. Features of destruction of Kh12MF tool steel. *Kuznechno-shtampovnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem*. 2015. No. 6. pp. 33–41.
13. Sotova E. S., Yakushkova A. I. Selection of the optimal mode of heat treatment of a die tool made of Kh12MF steel for cold deformation operations. *Avtomatizatsiya i upravlenie v mashinostroenii*. 2018. No. 1 (30). pp. 1–9.
14. Stepankin I. N., Pozdnyakov E. P., Kuis D. V. Contact wear of Kh12M and Kh12MF semi-heat-resistant die steels with a surface-modified layer. *Trenie i iznos*. 2019. Vol. 40. No. 1. pp. 5–11.
15. Stepankin I. N. Consideration of regularities of contact wear of the a stamping tool surface layer in order to increase its durability. *Trenie i iznos*. 2017. No. 3 (38). pp. 185–192.
16. Alifanov A. V., Goretskiy G. P., Tsuran V. V., Bogdanovich I. A., Tolkacheva O. A. Study of the influence of high-temperature thermomechanical treatment on the structure and mechanical properties of steels used for the manufacture of chipper knives. *Tekhnicheskie nauki*. 2020. No. 8. pp. 10–16.
17. Smirnov A. E., Plokhikh A. I., Ryzhova M. Yu., Akinin A. B., Boev S. V. Increasing the durability of a hammered tool made of Kh12MF steel by quenching in high pressure nitrogen and thermal cycling. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov*. 2020. No. 2 (776). pp. 31–36.
18. Fedoseev M. E., Fomin A. A. Improvement of performance properties of Kh12MF tool steel by electrospark alloying. *Perspective development of science, engineering and technology: collection of articles*. Kursk, 2019. pp. 307–311.
19. Bepari M. M. A. Carburizing: a method of case hardening of steel. *Comprehensive Materials Finishing*. Elsevier. 2017. pp. 71–106.
20. Sugawara Y., Inoue W., Muto I., Hara N. Methodology for fabrication of highly pitting corrosion-resistant type 304 stainless steel by plasma carburizing and post-pickling treatment. *Journal of the electrochemical society*. 2018. Vol. 165, Iss. 9. pp. 441–449.
21. Grigorenko V. B., Morozova L. V. Application of scanning electron microscopy to study the initial stages of fracture. *Aviatsionnye materialy i tekhnologii*. 2018. No. 1 (50). pp. 77–87.
22. GOST 5950–73. Tool alloy steel bars, strips and coils. General specifications. Introduced: 01.01.2002.

## Романцев Б. А., Гончарук А. В., Вавилкин Н. М., Самусев С. В.

### Трубное производство. Учебник

Представлены элементы теории, современные технологии и оборудование для производства бесшовных, холоднодеформированных и сварных труб.

Приведены характеристики исходных заготовок и способы их производства, расчет энергосиловых параметров процессов производства труб, таблиц прокатки, калибровки инструмента. Описаны характерные виды брака труб и способы их устранения. Рассмотрены вопросы производительности при производстве труб по различным технологическим схемам.

Предназначен для студентов специальностей 150106, 150404, может быть полезен инженерно-техническим и научным работникам, специализирующимся в области трубного производства.

2-е изд., испр. и доп.

По вопросам приобретения книги обращайтесь:

119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 6., стр. 2

НИТУ МИСИС, "А"-корпус, 6-й этаж, офис 624.

Эл. почта: books@rudmet.ru

Тел: (495) 955-01-75



«Руда и Металлы»  
Издательский дом

Реклама