



Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)

Сайт журнала: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Влияние структурного состояния коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т на качество поверхности после точения

Николай Шамарин^{1, a, *}, Андрей Филиппов^{1, b}, Сергей Тарасов^{1, 2, c}, Олег Подгорных^{2, d},
 Вероника Утяганова^{1, e}

¹ Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, пр. Академический, 2/4, г. Томск, 634055, Россия

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет, пр. Ленина, 30, г. Томск, 634050, Россия

^a <https://orcid.org/0000-0002-4649-6465>, shnn@ispms.ru, ^b <https://orcid.org/0000-0003-0487-8382>, avf@ispms.ru,

^c <https://orcid.org/0000-0003-0702-7639>, tsy@ispms.ru, ^d <https://orcid.org/0000-0002-7758-9242>, podgornysh.o.a@mail.ru,

^e <https://orcid.org/0000-0002-2303-8015>, filaret_2012@mail.ru

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 621.914.1

История статьи:

Поступила: 14 декабря 2019
 Рецензирование: 30 декабря 2019
 Принята к печати: 07 февраля 2020
 Доступно онлайн: 15 марта 2020

Ключевые слова:

Коррозионно-стойкая сталь
 Интенсивная пластическая деформация
 Точение
 Микрогеометрия поверхности

Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-38-00058). Структурные исследования выполнены в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы, направление III.23.

АННОТАЦИЯ

Введение. Развитие и постоянное совершенствование методов, технологии и оснастки для осуществления интенсивных пластических деформаций (ИПД) способствует снижению затрат на производство ультрамелкозернистых (УМЗ) материалов, обладающих улучшенными физико-механическими свойствами. Благодаря этому такие материалы становятся более доступными для применения в серийном производстве различных изделий. Одним из самых распространенных методов получения готовых металлических изделий является обработка резанием, в частности точением. Однако на данный момент существует недостаток информации о влиянии структурного состояния УМЗ-материалов на качественные характеристики обработанной поверхности. **Цель работы:** исследование влияния структурного состояния, сформированного методами ИПД, коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т на качество механической обработки её поверхности при точении. **В работе исследованы** образцы из сплава 12Х18Н10Т в состоянии поставки и после структурообразования с применением современного металлорежущего инструмента и оборудования, а также рекомендуемых режимов резания. **Методами исследования** являются механические испытания на сжатие и растяжение, просвечивающая электронная микроскопия, оптическая металлография, лазерная сканирующая микроскопия. **Результаты и обсуждение.** На основе полученных экспериментальных результатов можно заключить, что ИПД является действенным способом повышения качества механической обработки поверхности при точении хромоникелевой коррозионно-стойкой стали марки 12Х18Н10Т. В частности, структурообразование методами ИПД приводит к значительному (в 1,14...1,9 раза) снижению параметра шероховатости S_a и еще более существенному (в 1,33...4,4 раза) снижению параметра S_z . При этом АВС-прессование с последующей прокаткой является более эффективным методом ИПД для обеспечения наилучшего соотношения качества обработки и высокой механической прочности. Полученные результаты указывают на большой потенциал использования изделий из объемных УМЗ-материалов в промышленности за счет возможности сочетания в них высоких механических свойств и качества механической размерной обработки. Полученные данные могут быть применены при проектировании технологических процессов механической обработки коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т с ультрамелкозернистой структурой в условиях серийного машиностроительного производства.

Для цитирования: Влияние структурного состояния коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т на качество поверхности после точения / Н.Н. Шамарин, А.В. Филиппов, С.Ю. Тарасов, О.А. Подгорных, В.Р. Утяганова // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2020. – Т. 22, № 1. – С. 102–113. – DOI:10.17212/1994-6309-2020-22.1-102-113.

Введение

Применение методов интенсивной пластической деформации (ИПД) для изготовления ответственных изделий и конструкций становится современной тенденцией в связи с исчерпанием традиционных возможностей упрочнения сплавов и необходимостью увеличения удельной

*Адрес для переписки

Шамарин Николай Николаевич, м.н.с.

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
 пр. Академический, 2/4,
 634055, г. Томск, Россия

Тел.: 8 (905) 079-07-29, e-mail: shnn@ispms.ru

прочности и эксплуатационной надежности металлических материалов. Расширение круга материалов, механические свойства которых могут быть улучшены с применением ИПД, является актуальной задачей материаловедения.

Хромоникелевые коррозионно-стойкие стали широко распространены в машино- и судостроении, химической и пищевой промышленности. В зависимости от соотношения количеств аустенито- и ферритообразующих легирующих элементов кристаллизация этих сталей идет по механизму аустенит-феррит или феррит-аустенит, поэтому эти стали могут быть аустенитными или двухфазными аустенитно-ферритными. Аустенитные стали проявляют склонность к быстрому деформационному упрочнению, и поэтому проведение ИПД связано с известными трудностями. Тем не менее повышение прочности этих сталей за счет формирования ультрамелкозернистой (УМЗ) структуры методами интенсивной пластической деформации представляется возможным [1–4]. Связанное с этим изменение структурного состояния и механических свойств может существенно повлиять на обрабатываемость стали резанием.

Обрабатываемость резанием материалов с УМЗ-структурой является предметом изучения как отечественных, так и зарубежных исследователей. В качестве исследуемых материалов наиболее часто рассматриваются технически чистый титан [5] и сплавы на его основе [6], медь [7], малоуглеродистые стали [8, 9], магниевые [10], алюминиевые [11] сплавы. При этом по отдельности или комплексно рассматриваются такие показатели обрабатываемости резанием, как составляющие силы резания, шероховатость обработанной поверхности и твердость приповерхностного деформированного слоя материала, а также износостойкость инструмента. Поскольку на процесс резания помимо свойств обрабатываемого материала оказывает влияние множество факторов, таких как тип обработки (точение, сверление, фрезерование), особенности режущего инструмента, наличие или отсутствие смазочно-охлаждающей жидкости и другие, то получается, что все эти исследования выполнены при различных условиях реализации процесса резания. В связи с этим возникает неоднозначность в трактовке имеющихся результатов исследований о влиянии структурного

состояния материала на его обрабатываемость резанием. Тем не менее существует необходимость учета влияния вышеуказанных факторов на качество обработки резанием при технологической подготовке производства [12–15].

Исследования качества обработки резанием на материалах с УМЗ-структурой, сформированной методами ИПД, показывают, что метод обработки существенно влияет на параметры микрогеометрии поверхности, например при точении и фрезеровании алюминиевого сплава АМг2 [16]. Так, при точении материала в УМЗ-состоянии шероховатость обработанной поверхности до семи раз меньше по сравнению с шероховатостью, полученной обработкой этого же материала с крупнокристаллической (КК) структурой [17]. В то же время при фрезеровании шероховатость поверхности УМЗ-сплава снижается только в 3,8 раза [18]. Фрезерование коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т в УМЗ-состоянии дает значения высотных параметров (S_a и S_z) шероховатости до 6,7 раз меньше, чем при фрезеровании этой же стали в исходном состоянии [19]. В настоящее время нет известных работ по изучению влияния структурного состояния на качество обработки поверхности при точении хромоникелевых коррозионно-стойких сталей.

Целью настоящей работы является исследование влияния структурного состояния, сформированного методами ИПД, коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т на качество механической обработки ее поверхности при точении.

Методика исследований

Исследовали три типа образцов. Первый тип образцов – прокат круглый с закалкой на аустенит (обозначен как «Закалка»); второй – после АВС-прессования (обозначен как «АВС»), третий – после АВС-прессования и прокатки (обозначен как «АВС + R1»). Образцы АВС получены путем осадки образца по трем координатным осям на гидравлическом прессе. Первый проход выполнен путем нагрева заготовки до 500 °С и последующего осаждения на 50 %, второй проход – при нагреве заготовки до 450 °С и осаждении на 45 %, третий проход – при нагреве заготовки до 400 °С и осаждении на 40 %.

Образцы ABC+R1 получены путем прокатки образцов толщиной 20 мм, полученных после ABC-прессования, до квадратного прутка со стороной 10 мм за пять проходов. Между прохождениями заготовки нагревали в печи при температуре 300 °С в течение 15 мин.

Исследование микроструктуры проводилось методами просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) при помощи микроскопа JEM-2100 (JEOL Ltd, Japan), а также металлографии при помощи оптического микроскопа METAM LB (LOMO, Russia). При проведении ПЭМ-исследований использовались режимы получения светлопольных изображений и микродифракционных картин (SAED).

Тесты на сжатие и растяжение осуществлялись на испытательной машине Testsystems 110M-10 (testsystems, Russia) при комнатной температуре.

Твердость определена с помощью нанотвердомера CSM Nano Hardness Tester (CSM Instruments, USA).

Полученные после ИПД обработки образцы в виде цилиндрических заготовок подвергались точению на токарном станке OKUMA ES-L8II-M (Okuma Corp., Japan). Обтачивалась торцевая поверхность заготовок с КК и УМЗ-структурой. Частота вращения шпинделя 4000 об/мин. В процессе испытаний варьировались глубина резания и подача (табл. 1). Использовался проходной резец со сменной многогранной пластиной фирмы Korloy Inc. (Korea), маркировка – CCGT 120408-AR. Обработка осуществлялась без применения смазочно-охлаждающей жидкости.

Таблица 1

Table 1

Режимы резания
The cutting modes

Номер режима	Подача, мм/об	Глубина резания, мм
Mode number	Feed, mm/rev	Cutting depth, mm
1	0,07	0,4
2	0,07	0,8
3	0,15	0,4
4	0,15	0,8
5	0,15	1,6
6	0,25	0,8
7	0,25	1,6

Оценка параметров рельефа обработанной резанием поверхности проводилась с помощью конфокального лазерного сканирующего микроскопа Olympus OLS 4100 (Olympus, Japan).

Результаты и их обсуждение

Микроструктура образца после закалки представлена мелкими зернами со средним размером $\sim 15 \pm 5$ мкм (рис. 1, а). Также наблюдаются карбиды TiCN. После ABC-прессования структура материала может быть охарактеризована, как дискретно-разориентированная полосовая (рис. 1, б). После ABC-прессования и прокатки сформирована равноосная ультрамелкозернистая структура со средним размером зерна 400 ± 200 нм (рис. 1, в).

Механические свойства исследуемых образцов приведены в табл. 2. После закалки сталь 12X18H10T обладает наименьшей прочностью из рассматриваемых образцов, но наибольшей пластичностью. После ABC-прессования условный предел текучести возрастает примерно в 2,7 раза, а предел прочности примерно в 1,5 раза по сравнению с образцом в закаленном состоянии. При этом пластичность снижается в $\sim 1,85$ раза, а твердость повышается в $\sim 1,26$ раза. После ABC-прессования и прокатки условный предел текучести возрастает в $\sim 3,1$ раза, а предел прочности – в $\sim 2,1$ раза по сравнению с образцом в закаленном состоянии. При этом пластичность снижается в $\sim 1,9$ раза, а твердость повышается в $\sim 1,3$ раза. Повышение прочности материала является закономерным эффектом изменения размеров зерна за счет интенсивной пластической деформации и подчиняется широко известному соотношению Холла–Петча, исходя из которого следует, что чем меньше размер зерна, тем выше прочность материала. В свою очередь, твердость сильно зависит от условий формирования структуры материала. Так как в рассматриваемом случае процесс ИПД сопровождался нагревом материала перед прессованием и прокаткой, то это способствовало снижению остаточных напряжений и соответственно невысоким значениям нанотвердости в материалах с измельченной структурой.

При точении образцов в закаленном состоянии на обработанной поверхности формируются локальные области с налипшим материалом

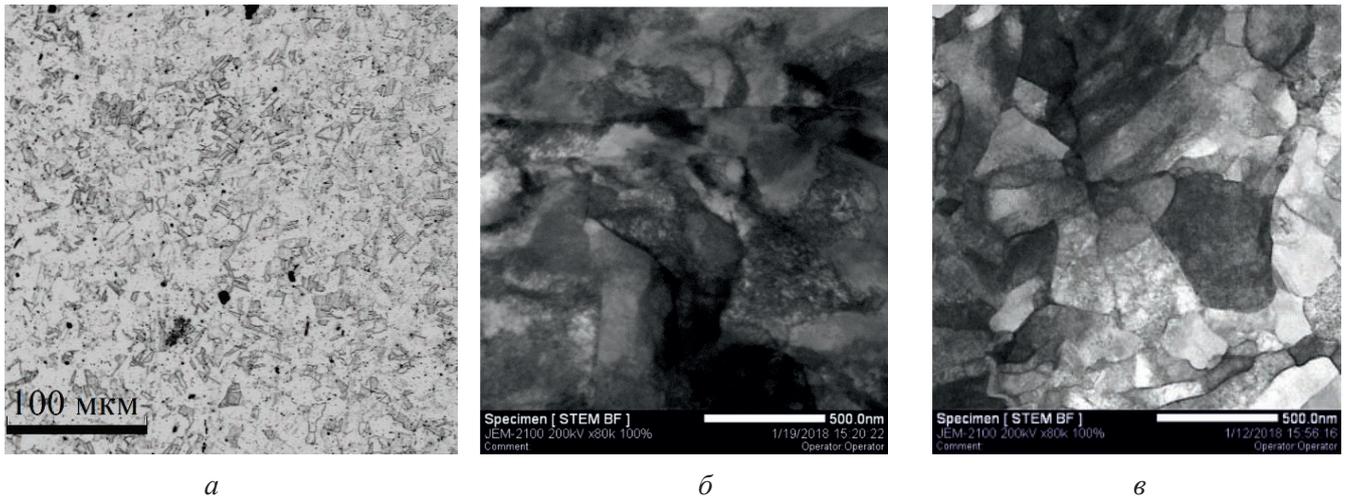


Рис. 1. Микроструктура стали 12X18Н10Т после закалки (а); АВС-прессования (б); АВС-прессования и прокатки (в)

Fig. 1. The microstructure of AISI321 steel after quenching (a, optical microscopy); ABC pressing (б, TEM image); ABC pressing and rolling (в, TEM image)

Таблица 2

Table 2

Механические свойства образцов
The mechanical properties of samples

Состояние образца	Условный предел текучести при сжатии, МПа	Предел прочности при растяжении, МПа	Относительное удлинение при растяжении, %	Твердость, НВ
Sample Condition	Yield offset under compression, МПа	Tensile Strength, МПа	Elongation at Tension, %	Hardness, НВ
Закалка	277 ± 7	535 ± 10	61 ± 2	205 ± 2
АВС	741 ± 12	814 ± 12	33 ± 1,5	259 ± 3
АВС+R1	867 ± 11	1133 ± 15	32 ± 1,5	265 ± 5

(рис. 2, а). Это обусловлено процессами наростообразования и пластического отеснения фрагментов микрорельефа с последующим замытием задней поверхностью режущего лезвия при следующем обороте заготовки. Налипание фрагментов материала является распространенной проблемой при обработке заготовок из данной стали в состоянии поставки (проката круглого горячекатаного).

При анализе обработанных поверхностей образцов, микроструктура которых сформирована АВС-прессованием (рис. 2, б), а также АВС-прессованием с последующей прокаткой (рис. 2. в), следов налипания материала значительно меньше, как и прочих поверхностных дефектов.

В ходе анализа профилей поверхности, обработанной при разных режимах резания, для рассматриваемых образцов были определены параметры Sa (рис. 3, а) и Sz (рис. 3, б), которые выражают среднее арифметическое и максимальное значения высот микрорельефа. Структурообразование методами ИПД приводит к значительному (в 1,14...1,9 раза) снижению параметра Sa и еще более существенному (в 1,33...4,4 раза) снижению параметра Sz . При анализе полученных значений также установлено, что АВС-прессование в большинстве рассматриваемых случаев является менее эффективным методом структурообразования, так как в меньшей степени влияет на микрогеометрию обработанной поверхности. В то же время можно

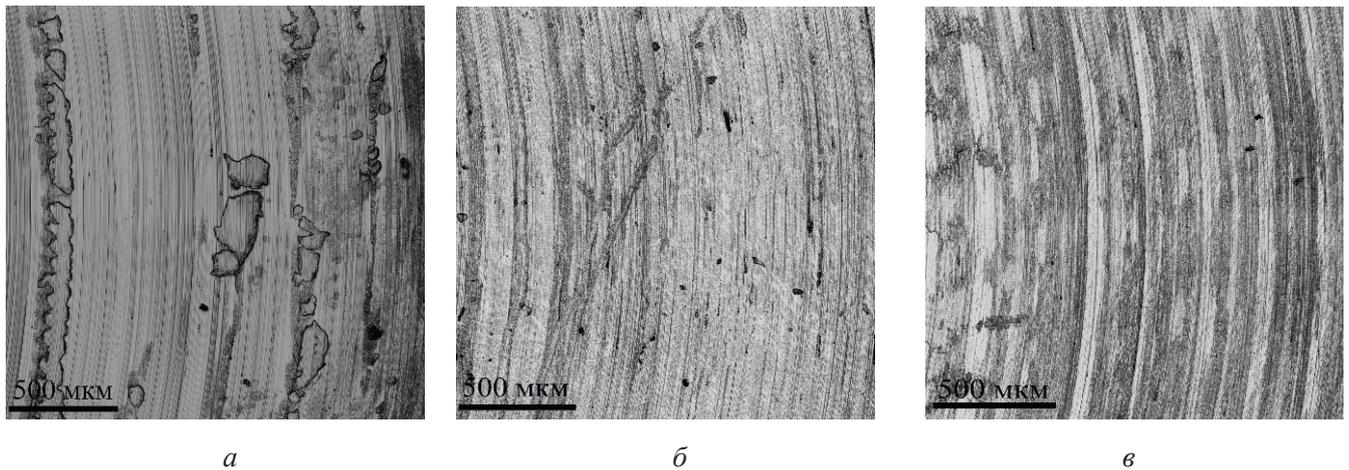


Рис. 2. Типичные изображения обработанной поверхности образцов в структурном состоянии: после закалки (а); АВС-прессования (б); АВС-прессования и прокатки (в)

Fig. 2. The optical images of the machined surfaces of: hardened samples (a); on ABC pressed samples (b); on ABC pressed and rolled samples (c)

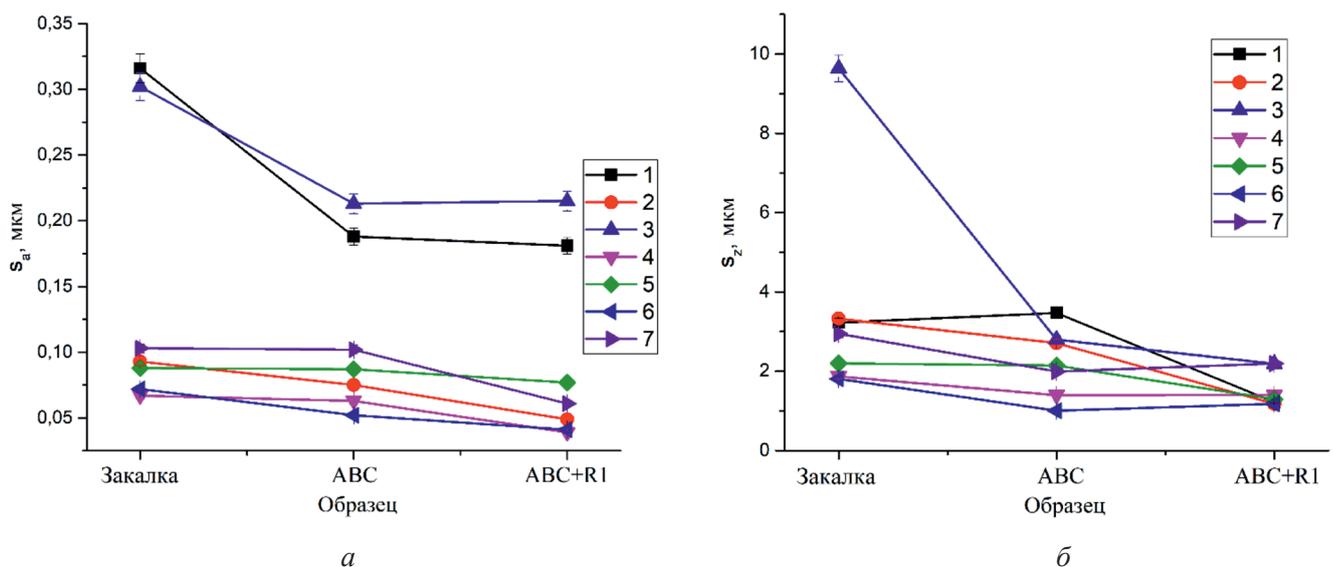


Рис. 3. Влияние структурного состояния стали 12Х18Н10Т на параметры Sa (а) и Sz (б) шероховатости обработанной поверхности при разных режимах резания

Fig. 3. The influence of the structural state of AISI 321 steel on the surface roughness parameters Sa (a) and Sz (b) as-measured for different cutting modes

утверждать, что формирование явно выраженной УМЗ-структуры после АВС-прессования и последующей прокатки приводит к существенному снижению шероховатости поверхности при обработке резанием.

Выполненные оценки указывают также на тот факт, что микрогеометрия обработанной поверхности зависит не только от структурного состояния материала, но и от режимов резания. Например, было выявлено, что наименьшее вли-

яние структурное состояние материала оказывает на параметр Sa при режиме № 5 (снижение в 1,14 раза), а на Sz – при режиме № 4 (снижение в 1,33 раза). Наибольшее влияние изменения структурного состояния материала на параметр Sa установлено при режиме № 2 (снижение в 1,9 раза), а на Sz – при режиме № 3 (снижение в 4,4 раза).

Для лучшего понимания влияния режимов резания на качество обработки рассматривае-

мых образцов выполнена оценка влияния изменения глубины резания (рис. 4) и подачи (рис. 5) на параметры S_a и S_z при постоянных прочих режимах резания. Исходя из полученных зависимостей можно заключить, что изменение глубины резания приводит к нелинейному изменению параметров шероховатости поверхности. При обработке материалов в исходном состоянии и после деформации методом АВС-прессования с увеличением глубины резания шероховатость снижается. Более высокая шероховатость при точении с наименьшей глубиной резания обусловлена эффектом наростообразования. Нарост формируется из-за малой толщины срезаемого слоя.

Наименьшее влияние глубина резания оказывает на параметры шероховатости при обработке стали в УМЗ состоянии, сформированном путем АВС-прессования и последующей прокатки.

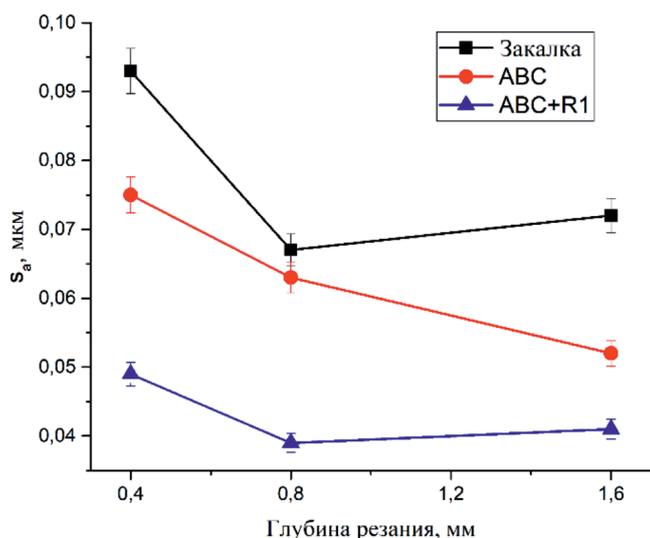
На основе анализа влияния изменения подачи на шероховатость обработанной поверхности можно выделить режим № 4, при котором подача составляет 0,15 мм/об. При обработке рассматриваемых материалов на данном режиме в подавляющем большинстве случаев формируется минимальная шероховатость обработанной поверхности. При наименьшей подаче

(0,07 мм/об), так же как и при малой глубине резания, происходит повышение шероховатости обработанной поверхности.

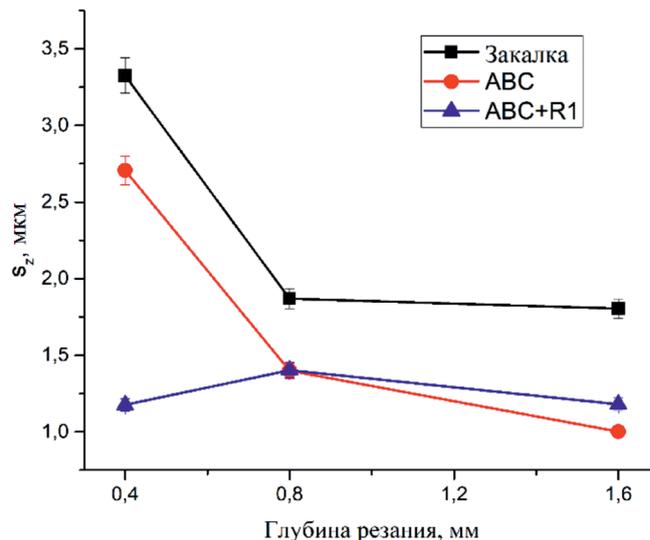
Формирование микрорельефа обработанной резанием поверхности обусловлено множеством факторов, которые помимо влияния на качество обработки оказывают взаимное влияние друг на друга.

В контексте полученных в данной работе результатов можно предполагать, что снижение шероховатости обработанной поверхности может быть связано со снижением склонности к наростообразованию из-за значительного уменьшения пластичности материала. Сталь после АВС-прессования находится в сильно деформированном состоянии, но ультрамелкозернистая структура еще не сформирована в полной мере. При этом относительное удлинение при растяжении материала значительно ниже, чем у закаленного материала. Еще более «хрупкой» является сталь в УМЗ-состоянии после АВС-прессования и прокатки. Как было отмечено ранее, на обработанной поверхности образцов из стали, подвергнутой ИПД, не наблюдается следов налипания.

Резание сопровождается разрушением материала из-за инициации трещины в зоне стружкообразования даже в случае обработки пластич-



а



б

Рис. 4. Влияние глубины резания на параметры S_a (а) и S_z (б) шероховатости обработанной поверхности при постоянной подаче 0,15 мм/об (режимы резания № 3–5)

Fig. 4. The effect of cutting depth on the surface roughness parameters S_a (a) and S_z (b) as-measured at constant feed 0.15 mm/rev (cutting modes No. 3–5)

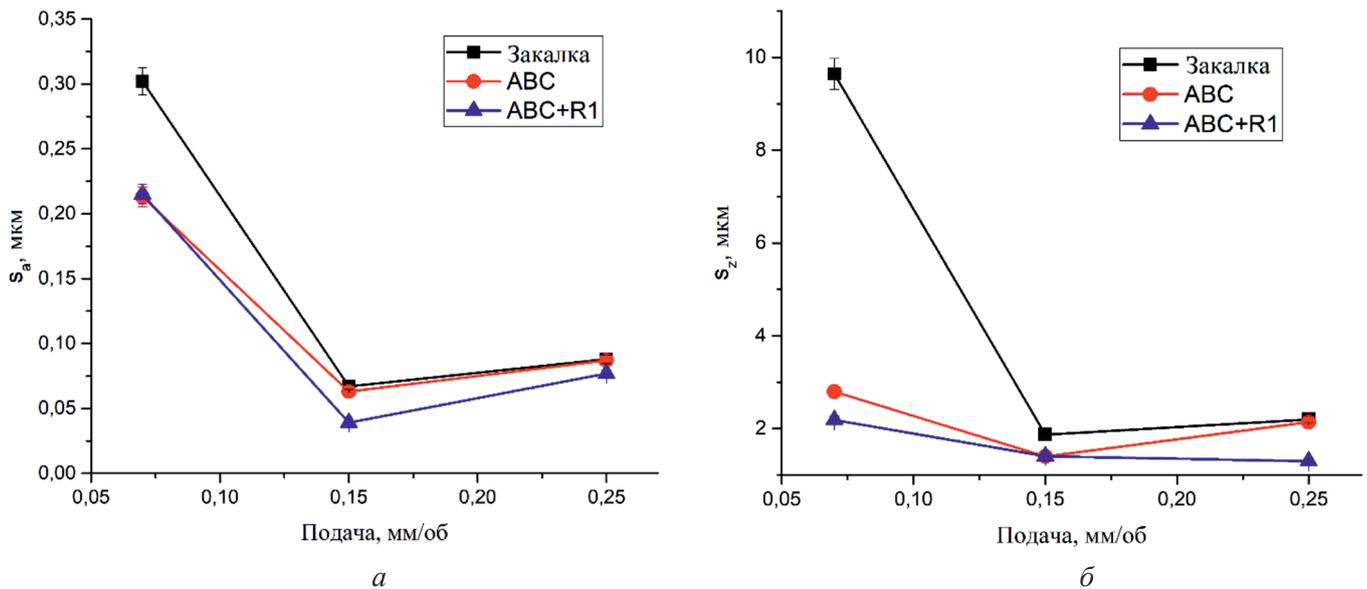


Рис. 5. Влияние подачи на параметры S_a (а) и S_z (б) шероховатости обработанной поверхности при постоянной глубине резания 0,8 мм (режимы резания № 2, 4 и 6)

Fig. 5. The effect of feed rate on the surface roughness parameters S_a (a) and S_z (б) as-measured at constant cutting depth 0.8 mm (cutting modes No. 2, 4 and 6)

ных материалов. При этом в процессе точения поверхность разрушения подвергается повторной деформации, но уже по механизму выглаживания. Происходит это при контакте задней поверхности инструмента с заготовкой. В результате микрорельеф, образованный в ходе отделения стружки, частично заглаживается. Разрушение мелкого зерна маловероятно, так как при повышенных температурах деформация УМЗ-материалов протекает по механизму зернограничного скольжения.

В ряде работ отмечается, что при формировании УМЗ-структуры снижается адгезия между задней поверхностью инструмента и заготовкой [20, 21], что также приводит к уменьшению шероховатости поверхности. Чем меньше адгезия между контактирующими поверхностями, тем меньше вероятность пластической деформации обрабатываемого материала и, как следствие, более низкая склонность к формированию «рваного» рельефа, характерного для вязкого разрушения.

Выводы

Выполнены экспериментальные исследования влияния структурного состояния коррозионно-стойкой стали 12X18H10T на качество обработки её поверхности при точении

с разными режимами резания. Структурное состояние изменялось методами интенсивной пластической деформации с целью формирования сильно деформированной и ультрамелкозернистой микроструктуры. После АВС-прессования и прокатки сформирована УМЗ-структура со средним размером зерна 400 ± 200 нм. Прочность и твердость материала в УМЗ состоянии повышаются в 2,1 и 1,3 раза соответственно по сравнению с материалом в закаленном состоянии.

На основе трехмерной оценки состояния обработанной резанием поверхности установлено, что структурообразование методами ИПД позволяет значительно снизить и даже полностью исключить формирование нароста и обратное налипание материала на поверхность стали.

Структурообразование методами ИПД приводит к значительному (в 1,14...1,9 раза) снижению параметра S_a и еще более существенному (в 1,33...4,4 раза) снижению параметра S_z . При анализе полученных значений также установлено, что АВС-прессование в большинстве рассматриваемых случаев является менее эффективным методом структурообразования, так как в меньшей степени влияет на микрогеометрию обработанной поверхности. В то же время можно утверждать, что формирование

явно выраженной УМЗ-структуры после АВС-прессования и последующей прокатки приводит к существенному снижению шероховатости поверхности.

Комплексный положительный эффект ИПД достигается за счет повышения прочности и твердости коррозионно-стойкой стали, а также улучшения качества ее обработки.

Список литературы

1. *Shintani T., Murata Y.* Evaluation of the dislocation density and dislocation character in cold rolled Type 304 steel determined by profile analysis of X-ray diffraction // *Acta Materialia*. – 2011. – Vol. 59. – P. 4314–4322. – DOI: 10.1016/j.actamat.2011.03.055.

2. Microstructure evolution in nano/submicron grained AISI 301LN stainless steel / S. Rajasekhara, L.P. Karjalainen, A. Kyröläinen, P.J. Ferreira // *Materials Science and Engineering: A*. – 2010. – Vol. 527. – P. 1986–1996. – DOI: 10.1016/j.msea.2009.11.037.

3. Ultrahigh strength nano/ultrafine-grained 304 stainless steel through three-stage cold rolling and annealing treatment / G.S. Sun, L.X. Du, J. Hu, H. Xie, H.Y. Wu, R.D.K. Misra // *Materials Characterization*. – 2015. – Vol. 110. – P. 228–235. – DOI: 10.1016/j.matchar.2015.11.001.

4. The effect of cold rolling regime on microstructure and mechanical properties of AISI 304L stainless steel / A. Hedayati, A. Najafizadeh, A. Kermanpur, F. Forouzan // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2010. – Vol. 210, N 8. – P. 1017–1022. – DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2010.02.010.

5. *Ning J.* Inverse determination of Johnson – Cook model constants of ultra-fine-grained titanium based on chip formation model and iterative gradient search // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2018. – Vol. 99. – P. 1131–1140. – DOI: 10.1007/s00170-018-2508-6.

6. *Chertovskikh V.* Cuttability of UFG titanium BT1-0 obtained by ECAE // *Russian Engineering Research*. – 2007. – Vol. 27. – P. 260–264. – DOI: 10.3103/S1068798X0705005X.

7. *Huang Y., Morehead M.* Study of machining-induced microstructure variations of nanostructured/ultrafine-grained copper using XRD // *Journal of Engineering Materials and Technology*. – 2011. – Vol. 133. – P. 021007. – DOI: 10.1115/1.4003105.

8. Surface integrity analysis when milling ultrafine-grained steels / A.R. Rodrigues, O. Balancin, J. Gallego, C.L.F. De Assis, H. Matsumoto, F.B. De Oliveira, S.R.D.S. Moreira, O.V. Da Silva Neto //

Materials Research. – 2012. – Vol. 15. – P. 125–130. – DOI: 10.1590/S1516-14392011005000094.

9. *Assis C.L.F. de, Jasinevicius R.G., Rodrigues A.R.* Micro end-milling of channels using ultrafine-grained low-carbon steel // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2015. – Vol. 77. – P. 1155–1165. – DOI: 10.1007/s00170-014-6503-2.

10. Machining characteristics of fine grained AZ91 Mg alloy processed by friction stir processing / G.V.V. Surya Kiran, K.H. Krishna, S. Sameer, M. Bhargavi, B.S. Kumar, G.M. Rao, Y. Naidubabu, R. Dumpala, B.R. Sunil // *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. – 2017. – Vol. 27. – P. 804–811. – DOI: 10.1016/S1003-6326(17)60092-X.

11. Mechanical properties and machinability of 6061 aluminum alloy produced by equal-channel angular pressing / Y. Bayat Asl, M. Meratian, A. Emamikhah, R. Mokhtari Homami, A. Abbasi // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*. – 2015. – Vol. 229. – P. 1302–1313. – DOI: 10.1177/0954405414535921.

12. Surface roughness evaluation after machining wear resistant hard coats / K. Monkova, P. Monka, J. Cesanek, J. Matejka, V. Duchek // *MATEC Web of Conferences*. – 2017. – Vol. 137. – P. 03008. – DOI: 10.1051/mateconf/201713703008.

13. Study of a tap failure at the internal threads machining / P. Monka, K. Monkova, V. Modrak, S. Hric, P. Pastucha // *Engineering Failure Analysis*. – 2019. – Vol. 100. – P. 25–36. – DOI: 10.1016/j.engfailanal.2019.02.035.

14. Surface machining after deposition of wear resistant hard coats by high velocity oxygen fuel technology / K. Monkova, P. Monka, J. Matejka, M. Novak, J. Cesanek, V. Duchek, M. Urban // *Manufacturing Technology*. – 2017. – Vol. 17 (6). – P. 919–925.

15. Comparative study of chip formation in orthogonal and oblique slow-rate machining of EN 16MnCr5 steel / K. Monkova, P. Monka, A. Sekerakova, L. Hruzik, A. Burecek, M. Urban // *Metals*. – 2019. – Vol. 9 (6). – P. 698. – DOI: 10.3390/met9060698.

16. *Филиппов А.В., Филиппова Е.О.* Объемные ультрамелкозернистые материалы от структурообразования к формообразованию // *СТИН*. – 2018. – № 1. – С. 6–10.

17. Оценка 2D параметров шероховатости и волнистости поверхности после обработки резанием сплава АМг2 с ультрамелкозернистой структурой. Ч. 1. Точение / А.В. Филиппов, С.Ю. Тарасов, Н.Н. Шамарин, О.А. Подгорных, Е.О. Филиппова // *СТИН*. – 2018. – № 7. – С. 20–24.

18. Оценка 2D параметров шероховатости и волнистости поверхности после обработки резанием сплава АМг2 с ультрамелкозернистой структурой. Ч. 2. Фрезерование / А.В. Филиппов, С.Ю. Тарасов, О.А. Подгорных, Н.Н. Шамарин, Е.О. Филиппова, А.В. Воронцов // СТИН. – 2018. – № 12. – С. 32–35.

19. Влияние объемной интенсивной пластической деформации на шероховатость фрезерованной поверхности коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т / А.В. Филиппов, С.Ю. Тарасов, О.А. Подгорных, Н.Н. Шамарин, С.В. Фортуна, Е.О. Филиппова, А.В. Воронцов // СТИН. – 2019. – № 6. – С. 35–38.

20. *Morehead M., Huang Y., Hartwig K.T.* Machinability of ultrafine-grained copper using tungsten carbide and polycrystalline diamond tools // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 2007. – Vol. 47, iss. 2. – P. 286–293. – DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2006.03.014.

21. Constitutive modeling of ultra-fine-grained titanium flow stress for machining temperature prediction / J. Ning, V. Nguyen, Y. Huang, K. T. Hartwig, S. Y. Liang // *Bio-Design and Manufacturing*. – 2019. – Vol. 2, N 3. – P. 153–160. – DOI: 10.1007/s42242-019-00044-9.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2020 Авторы. Издательство Новосибирского государственного технического университета. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



Obrabotka metallov - Metal Working and Material Science

Journal homepage: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



The Effect of the Structural State of AISI 321 Stainless Steel on Surface Quality During Turning

Nikolay Shamarin^{1, a, *}, *Andrey Filippov*^{1, b}, *Sergei Tarasov*^{1, 2, c}, *Oleg Podgornykh*^{2, d},
Veronika Utyaganova^{1, e}

¹ Institute of Strength Physics and Materials Sciences SB RAS, 2/4, pr. Akademicheskii, Tomsk, 634055, Russian Federation

² National Research Tomsk Polytechnic University, 30 Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation

^a  <https://orcid.org/0000-0002-4649-6465>,  shnn@ispms.ru, ^b  <https://orcid.org/0000-0003-0487-8382>,  avf@ispms.ru,

^c  <https://orcid.org/0000-0003-0702-7639>,  tsy@ispms.ru, ^d  <https://orcid.org/0000-0002-7758-9242>,  podgornysh.o.a@mail.ru,

^e  <https://orcid.org/0000-0002-2303-8015>,  filaret_2012@mail.ru

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 14 December 2019

Revised: 30 December 2019

Accepted: 07 February 2020

Available online: 15 March 2020

Keywords:

Stainless steel

Severe plastic deformation

Cutting

Surface microgeometry

Funding

The reported study partly funded by RFBR according to the research project № 18-38-00058. Structural studies were carried out in the framework of the Program of Fundamental Scientific Research of state academies of sciences for 2013-2020, direction III.23 (project No. AAAA-A19-119051590004-5).

ABSTRACT

Introduction. The development and continuous improvement of methods, technologies and equipment for the implementation of severe plastic deformation (SPD) helps to reduce the cost of producing ultrafine-grained (UFG) materials with improved physical and mechanical properties. Thereby, such materials become more accessible for use in full production of various objects. Cutting, and in particular turning, is the most common method of manufacturing products. However, at the moment there is a lack of information about the influence of the structural state of UFG materials on the qualitative characteristics of the surface after turning. **The purpose of the work:** to study the effect of structural conditions in AISI 321 stainless steel on the quality of its machining during turning. **In this work,** samples of AISI 321 stainless steel in the state as received and after structure formation are investigated using modern metal-cutting tools and equipment, as well as recommended cutting conditions. **The methods of investigation** are mechanical tests for compression and tension, transmission electron microscopy, optical metallography, laser scanning microscopy. **Results and discussion.** Based on the obtained experimental data, it can be concluded that SPD is an effective way to improve the quality of surface machining when turning AISI 321 stainless steel. For example, structure formation using SPD significantly reduces the roughness parameters of Sa and Sz. For better cutting quality and strength, rolling after ABC pressing is more efficient. The obtained results indicate a great potential for using of products from bulk UFG materials in industry due to the possibility of combining high mechanical properties and quality of dimensional machining. The data obtained can be applied in the design of technological processes for the machining of AISI 321 stainless steel with an ultrafine-grained structure under conditions of full production engineering.

For citation: Shamarin N.N., Filippov A.V., Tarasov S.Yu., Podgornykh O.A. Utyaganova V.R. The Effect of the Structural State of AISI 321 Stainless Steel on Surface Quality During Turning. *Obrabotka metallov (tehnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2020, vol. 22, no. 1, pp. 102–113. DOI: 10.17212/1994-6309-2020-22.1-102-113. (In Russian).

References

1. Shintani T., Murata Y. Evaluation of the dislocation density and dislocation character in cold rolled Type 304 steel determined by profile analysis of X-ray diffraction. *Acta Materialia*, 2011, vol. 59, pp. 4314–4322. DOI: 10.1016/j.actamat.2011.03.055.

* Corresponding author

Shamarin Nikolay N., Junior Researcher

Institute of Strength Physics and Materials Sciences SB RAS,

2/4, pr. Akademicheskii,

634055, Tomsk, Russian Federation

Tel.: 8 (905) 079-07-29, **e-mail:** shnn@ispms.ru

2. Rajasekhara S., Karjalainen L.P., Kyröläinen A., Ferreira P.J. Microstructure evolution in nano/submicron grained AISI 301LN stainless steel. *Materials Science and Engineering: A*, 2010, vol. 527, pp. 1986–1996. DOI: 10.1016/j.msea.2009.11.037.
3. Sun G.S., Du L.X., Hu J., Xie H., Wu H.Y., Misra R.D.K. Ultrahigh strength nano/ultrafine-grained 304 stainless steel through three-stage cold rolling and annealing treatment. *Materials Characterization*, 2015, vol. 110, pp. 228–235. DOI: 10.1016/j.matchar.2015.11.001.
4. Hedayati A., Najafzadeh A., Kermanpur A., Forouzan F. The effect of cold rolling regime on microstructure and mechanical properties of AISI 304L stainless steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 2010, vol. 210, no. 8, pp. 1017–1022. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2010.02.010.
5. Ning J. Inverse determination of Johnson – Cook model constants of ultra-fine-grained titanium based on chip formation model and iterative gradient search. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2018, vol. 99, pp. 1131–1140. DOI: 10.1007/s00170-018-2508-6.
6. Chertovskikh V. Cuttability of UFG titanium BT1-0 obtained by ECAE. *Russian Engineering Research*, 2007, vol. 27, pp. 260–264. DOI: 10.3103/S1068798X0705005X.
7. Huang Y., Morehead M. Study of machining-induced microstructure variations of nanostructured/ultrafine-grained copper using XRD. *Journal of Engineering Materials and Technology*, 2011, vol. 133, p. 021007. DOI: 10.1115/1.4003105.
8. Rodrigues A.R., Balancin O., Gallego J., Assis C.L.F. de, Matsumoto H., Oliveira F.B. de, Moreira S.R.D.S., Silva Neto O.V. da. Surface integrity analysis when milling ultrafine-grained steels. *Materials Research*, 2012, vol. 15, pp. 125–130. DOI: 10.1590/S1516-14392011005000094.
9. Assis C.L.F. de, Jasinevicius R.G., Rodrigues A.R. Micro end-milling of channels using ultrafine-grained low-carbon steel. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2015, vol. 77, pp. 1155–1165. DOI: 10.1007/s00170-014-6503-2.
10. Surya Kiran G.V.V., Krishna K.H., Sameer S., Bhargavi M., Kumar B.S., Rao G.M., Naidubabu Y., Dumpala R., Sunil B.R. Machining characteristics of fine grained AZ91 Mg alloy processed by friction stir processing. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2017, vol. 27, pp. 804–811. DOI: 10.1016/S1003-6326(17)60092-X.
11. Bayat Asl Y., Meratian M., Emamikhah A., Mokhtari Homami R., Abbasi A. Mechanical properties and machinability of 6061 aluminum alloy produced by equal-channel angular pressing. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 2015, vol. 229, pp. 1302–1313. DOI: 10.1177/0954405414535921.
12. Monkova K., Monka P., Cesanek J., Matejka J., Duchek V. Surface roughness evaluation after machining wear resistant hard coats. *MATEC Web of Conferences*, 2017, vol. 137, p. 03008. DOI: 10.1051/mateconf/201713703008.
13. Monka P., Monkova K., Modrak V., Hric S., Pastucha P. Study of a tap failure at the internal threads machining. *Engineering Failure Analysis*, 2019, vol. 100, pp. 25–36. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2019.02.035.
14. Monkova K., Monka P., Matejka J., Novak M., Cesanek J., Duchek V., Urban M. Surface machining after deposition of wear resistant hard coats by high velocity oxygen fuel technology. *Manufacturing Technology*, 2017, vol. 17 (6), pp. 919–925.
15. Monkova K., Monka P., Sekerakova A., Hruzik L., Burecek A., Urban M. Comparative study of chip formation in orthogonal and oblique slow-rate machining of EN 16MnCr5 steel. *Metals*, 2019, vol. 9 (6), p. 698. DOI: 10.3390/met9060698.
16. Filippov A.V., Filippova E.O. Ob'emnye ul'tramelkozernistye materialy ot strukturoobrazovaniya k formoobrazovaniyu [Volumetric ultrafine-grained materials from structure formation to shaping]. *STIN = Russian Engineering Research*, 2018, no. 1, pp. 6–10. (In Russian).
17. Filippov A.V., Tarasov S.Yu., Shamarin N.N., Podgornykh O.A., Filippova E.O. Otsenka 2D parametrov sherokhovatosti i volnistosti poverkhnosti posle obrabotki rezaniem splava AMg2 s ul'tramelkozernistoi strukturoi. Ch. 1. Tochenie [Evaluation of 2D parameters of roughness and surface waviness after machining of AMg2 alloy with ultrafine-grained structure. Pt. 1. Turning]. *STIN = Russian Engineering Research*, 2018, no. 7, pp. 20–24. (In Russian).
18. Filippov A.V., Tarasov S.Yu., Podgornykh O.A., Shamarin N.N., Filippova E.O., Vorontsov A.V. Otsenka 2D parametrov sherokhovatosti i volnistosti poverkhnosti posle obrabotki rezaniem splava AMg2 s ul'tramelkozernistoi strukturoi. Ch. 2. Frezerovanie [Evaluation of 2D parameters of surface roughness and waviness after machining of an AMg2 alloy with an ultrafine-grained structure. Pt. 2. Milling]. *STIN = Russian Engineering Research*, 2018, no. 12, pp. 32–35. (In Russian).



19. Filippov A.V., Tarasov S.Yu., Podgornykh O.A., Shamarin N.N., Fortuna S.V., Filippova E.O., Vorontsov A.V. Vliyanie ob'ёмnoi intensivnoi plasticheskoi deformatsii na sherokhovatost' frezerovannoi poverkhnosti korroziionno-stoikoi stali 12Kh18N10T [The effect of volumetric intense plastic deformation on the roughness of the milled surface of corrosion-resistant steel 12X18H10T]. *STIN = Russian Engineering Research*, 2019, no. 6, pp. 35–38. (In Russian).

20. Morehead M., Huang Y., Hartwig K.T. Machinability of ultrafine-grained copper using tungsten carbide and polycrystalline diamond tools. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2007, vol. 47, iss. 2, pp. 286–293. DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2006.03.014.

21. Ning J., Nguyen V., Huang Y., Hartwig K.T., Liang S.Y. Constitutive modeling of ultra-fine-grained titanium flow stress for machining temperature prediction. *Bio-Design and Manufacturing*, 2019, vol. 2, no. 3, pp. 153–160. DOI: 10.1007/s42242-019-00044-9.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2020 The Authors. Published by Novosibirsk State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).