

УДК 539.4.016.2

ОБРАБОТКА КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ КОМБИНИРОВАННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭКСТРУЗИЕЙ И ВИНТОВЫМ ПРЕССОВАНИЕМ

© 2016 Н.Д. Коваленко, А.С. Сыромятникова, В.В. Лепов, А.М. Иванов

Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, г. Якутск

Статья поступила в редакцию 28.03.2016

Рассмотрено влияние комбинированной обработки экструзией и винтовым прессованием на структуру, механические свойства и механизм разрушения конструкционных сталей. Показано, что указанный вид обработки приводит к повышению прочностных характеристик, что связано с измельчением зерен и повышением плотности дислокаций. Установлено, что рельефы изломов образцов сталей после комбинированного деформирования не имеют значительных отличий по сравнению с исходным состоянием, и разрушение образцов произошло по вязкому механизму.

Ключевые слова: *экструзия, винтовое прессование, сталь, структура, механические свойства, механизм разрушения*

В настоящее время применение комбинированных методов деформационной обработки, в особенности методов интенсивной пластической деформации, вызывает все больший интерес исследователей в связи с возможностью достижения высоких физико-механических свойств металлов и их сплавов [1, 2]. Отдельный интерес представляет получение заготовок сложной формы, в частности, максимально приближенной к будущему изделию, непосредственно в процессе интенсивной пластической деформации. Одним из перспективных методов в этом направлении является винтовая экструзия [3–6]. Теоретические основы винтовой экструзии отражены в [3]. Там же представлены примеры применения этого метода. Работа [4] посвящена подбору оптимальных технологических параметров изотермической экструзии, позволяющих получить мелкозернистую структуру в полуфабрикатах, получить оптимальное сочетание прочностных и пластических характеристик конструкционных титановых сплавов ВТ6 и ВТ16. Для низкоуглеродистой стали 20Г2С в [5] показано, что при теплой винтовой экструзии наблюдается неоднородность структуры: в продольном сечении преобладают вытянутые зерна (с фактором формы равным 2), в поперечном – равноосные. В результате винтового прессования до степени деформации $\epsilon=4$ при комнатной температуре отожженной низкоуглеродистой стали Ст3 в [6] достигнуто значительное измельчение зеренной структуры, повышение прочности и снижение пластичности. Таким образом, задача разработки новых и развития известных методов интенсивной пластической деформации, в том числе комбинированных методов, актуальна и имеет перспективу практического применения.

Цель работы: изучение влияния комбинированной обработки экструзией и винтовым прессованием на структуру, механические свойства и механизм разрушения конструкционных сталей.

Материал и методика исследований. Объекты исследования – конструкционные стали:

Коваленко Нюргуяна Дмитриевна, младший научный сотрудник. E-mail: nakalykay@mail.ru

Сыромятникова Айталина Степановна, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник. E-mail: a.s.syromyatnikova@mail.ru

Лепов Валерий Валерьевич, доктор технических наук, заместитель директора. E-mail: leporov@iptpn.ysn.ru

Иванов Афанасий Михайлович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник. E-mail: a.m.ivanov@iptpn.ysn.ru

низколегированная сталь 09Г2С (в % – 0,1 С, 0,85 Si, 1,41 Mn, 0,17 Cr, 0,18 Ni, 0,35 Cu, остальное Fe) и низкоуглеродистая сталь Ст3сп (в % – 0,18 С, 0,28 Si, 0,60 Mn, 0,01 Cr, $\leq 0,003$ Ni, 0,01 P, 0,01 S, 0,05 Cu, 0,05 Al, 0,012 W, остальное Fe). Химический анализ проведен на атомно-эмиссионном спектрометре «Foundry-Master» (WAS AG).

Описание способа комбинированной обработки объемных заготовок методами экструзии и винтового прессования (ЭВП) приведено в [7]. В основу метода положен запатентованный способ комбинированной интенсивной пластической деформации заготовок [8]. В настоящей работе осуществлялась обработка объемных заготовок размером $\varnothing 12 \times 60$ мм в один проход при температуре 673 и 773 К. Согласно разработанной схеме объемная заготовка вначале экструдируется, а затем продавливается через винтовой канал. Весь процесс осуществляется в одном устройстве.

Механические испытания на одноосное растяжение цилиндрических образцов проводились при комнатной температуре на универсальной машине «Инстрон-1195». Образцы для испытаний на одноосное растяжение из заготовок после ЭВП были вырезаны из центральной части. Микроструктурные исследования проводились на оптическом микроскопе «Neophot-32», фактографические – на сканирующем электронном микроскопе HITACHI TM 3030 в режиме вторичных электронов.

Результаты исследований и их обсуждение.

Вид винтового профиля, полученного в результате комбинированной обработки цилиндрической стальной заготовки, приведен на рис. 1. Механические свойства сталей до и после обработки приведены в табл. 1.



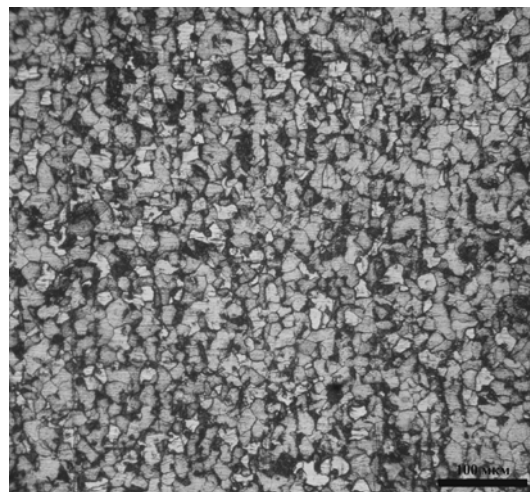
Рис. 1. Стальные заготовки до (а) и после (б) комбинированной обработки

Таблица 1. Механические характеристики сталей 09Г2С и Ст3сп в различных состояниях

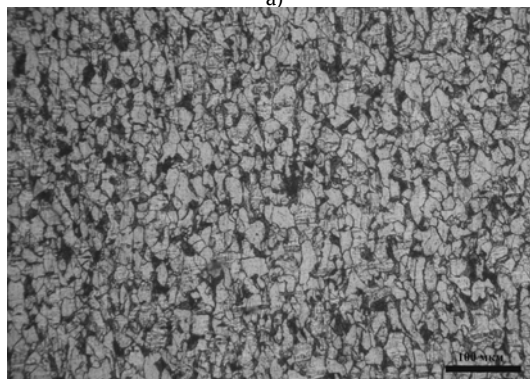
Марка стали	Состояние материала	σ_t , МПа	σ_b , МПа	δ , %
09Г2С	исходное (состояние поставки)	361	521	36,65
	экструзия + винтовое прессование в $n=1$ проход при 673 К	741	793	20,85
	экструзия + винтовое прессование в $n=1$ проход при 773 К	645	725	22,65
Ст3сп	исходное (состояние поставки)	333	485	35,1
	экструзия + винтовое прессование в $n=1$ проход при 673 К	660	731	19,1
	экструзия + винтовое прессование в $n=1$ проход при 773 К	565	655	20,4

Комбинированная обработка посредством ЭВП приводит к повышению предела текучести в 1,8-2 раза, предела прочности 1,4-1,5 раза и снижению пластичности в 1,6-1,75 раза для стали 09Г2С. Для стали Ст3сп эти показатели следующие: повышение предела текучести в 1,7-2 раза, предела прочности в 1,35-1,5 раза, понижение пластичности в 1,7-1,8 раза. При более низкой температуре ЭВП достигнуты более высокие значения характеристик прочности и более низкая пластичность для обеих марок сталей, что ранее наблюдалось и при равноканальном угловом прессовании. В качестве примера на рис. 2 приведена микроструктура стали 09Г2С. В результате комбинированной обработки ферритные зерна несколько измельчаются: если средний размер зерна стали 09Г2С в исходном состоянии составлял 11,97 мкм, то в результате ЭВП формируется фрагментированная структура со средним размером зерна 7,8 мкм. Также в обработанных образцах стали наблюдается вытянутость ферритных зерен вдоль оси прессования, что объясняется воздействием экструзии. Поскольку, как показали исследования, рельефы изломов образцов сталей в исходном состоянии и после экструзии в исследованных участках не имеют значительных отличий, ограничимся описанием фактограмм для сталей 09Г2С и Ст3сп при температуре обработки методом ЭВП 773 К.

Состояние поставки. Макрорельеф разрушения при одноосном статическом растяжении цилиндрических образцов из сталей в исходном состоянии показывает вязкое разрушение с образованием «чашечного» излома в шейке растянутого образца (рис. 3а, рис. 4а).

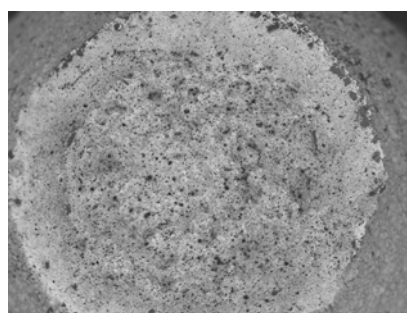


а)

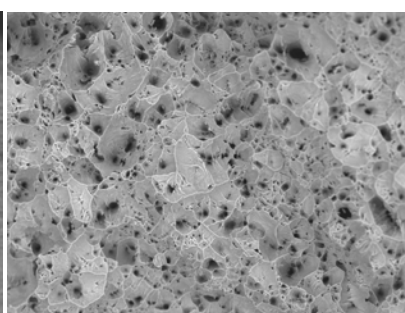


б)

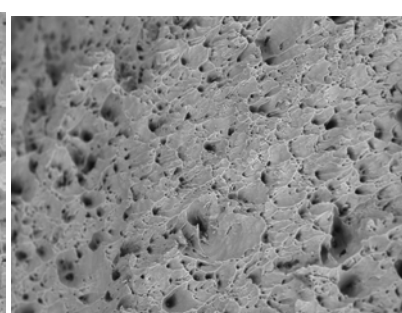
Рис. 2. Микроструктура стали 09Г2С:
а) в состоянии поставки; б) после ЭВП в $n=1$
проход при 773 К



а)



б)



в)

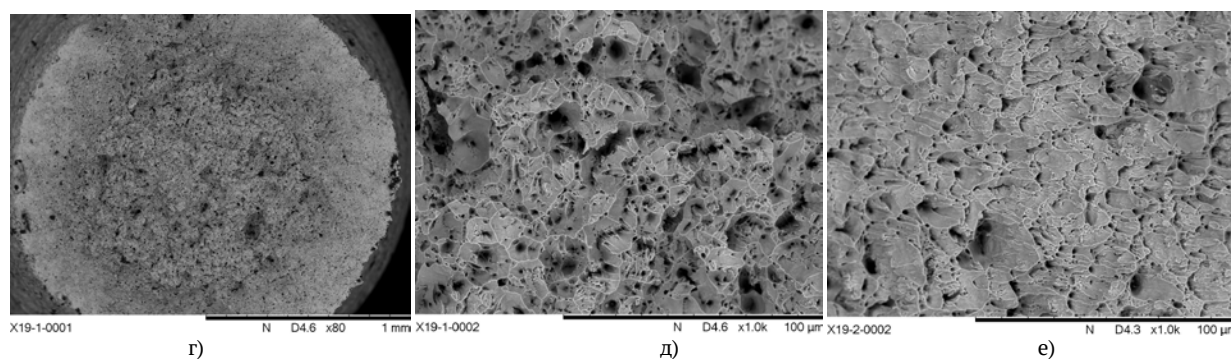


Рис. 3. Макро- и микрорельеф изломов образцов из стали 09Г2С:
а) в состоянии поставки, $\times 100$; б) в зоне 1 (в центре), $\times 1000$; в) в зоне 2 (на периферии), $\times 1000$;
г) после ЭВП в 1 проход при 773 К, $\times 80$; д) в зоне 1, $\times 1000$; е) в зоне 2, $\times 1000$.

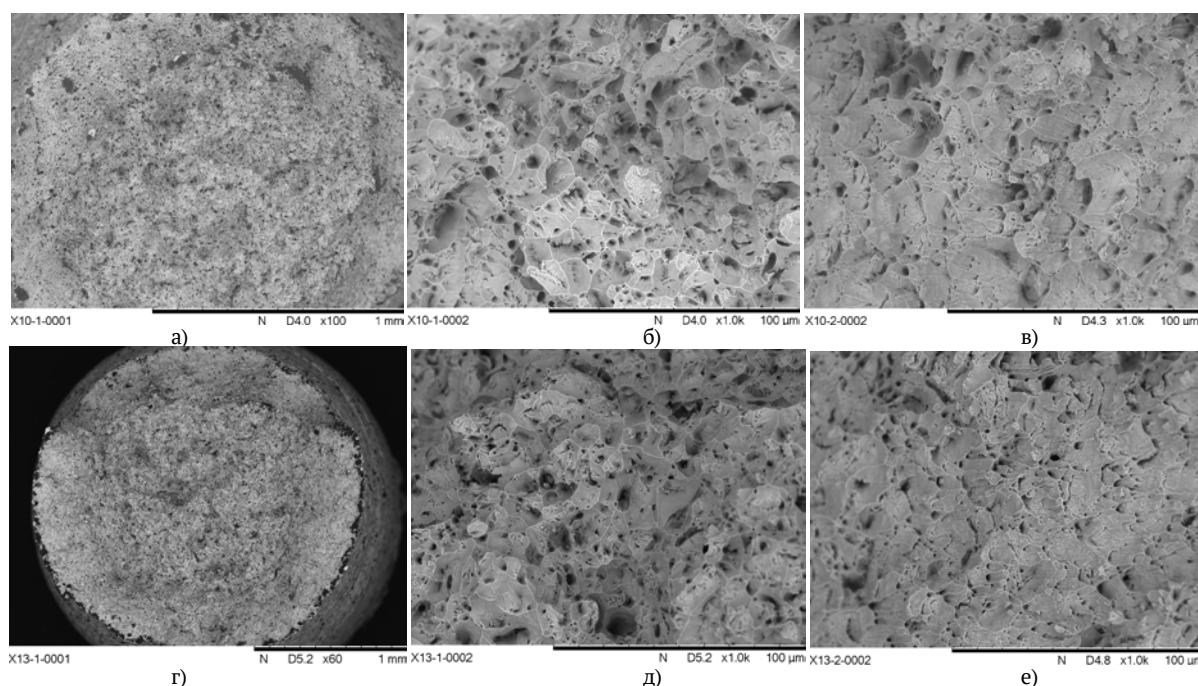


Рис. 4. Макро- и микрорельеф изломов образцов из стали СтЗсп:
а) в состоянии поставки, $\times 100$; б) в зоне 1 $\times 1000$; в) в зоне 2, $\times 1000$;
г) после ЭВП в 1 проход при 773 К, $\times 60$; д) в зоне 1, $\times 1000$; е) в зоне 2, $\times 1000$

Вязкий разрыв образцов произошел после значительной утяжки. Изломы обеих половинок разрушенного образца характеризуются как излом типа «чашечка – конус». Разрушение образцов произошло с образованием губ среза. Структура поверхности разрушения матовая, неровная. Развитие трещины внутризеренное (транскристаллитное). При этом механизм разрушения определяется образованием ямок путем слияния микропор (рис. 3б, рис. 4б). В центральной части шейки образцов (зона 1) вязкое разрушение характеризуется наличием равноосных ямок нормального отрыва, разделенных гребнями с острыми краями (рис. 3б, рис. 4б). В изломе стали 09Г2С наблюдаются единичные фасетки хрупкого скола. Размеры ямок для обеих марок сталей меняются в широком диапазоне, что обусловлено значительными колебаниями размеров и дисперсных включений в исследуемых сталях. Максимальные размеры ямок в изломе стали 09Г2С порядка 10 мкм, а СтЗсп – 25 мкм.

Излом периферийной части шейки (зона 2) образцов сталей также сформирован по механизму вязкого разрушения и характеризуется вытянутыми ямками сдвига, изолированными мелкими ямками

отрыва, которые сформировались при разрушении перемычек сдвигом, а также плоскими гладкими плоскостями расслоения, образованными при сдвиге (рис. 3в, рис. 4в). Формирование последнего из указанных микрорельефов является следствием сильной локализации пластического течения в области действия касательных напряжений, приводящего к разделению материала по плоскости скольжения.

Состояние после ЭВП. Изломы разрушенных образцов из сталей 09Г2С и СтЗсп, подвергнутых ЭВП, представляют собой качественно такую же картину, что и излом образцов в состоянии поставки. В изломе упрочненной стали 09Г2С также наблюдаются единичные фасетки хрупкого скола. Вязкое разрушение произошло при меньшей утяжке образцов, чем для состояния поставки. Таким образом, рельефы изломов образцов сталей 09Г2С и СтЗсп после комбинированного деформирования экструзией и винтовым пресованием в исследованных участках не имеют значительных отличий по сравнению с исходным состоянием. Анализ результатов микроструктурных и фрактрографических исследований позволяют предположить, что упрочнение сталей при обработке произошло за

счет уменьшения размера зерен и повышения плотности дислокаций, так как существенного отличия в механизме разрушения сталей до и после обработки не наблюдается.

Выводы: разработанный комбинированный метод экструзии и винтового прессования эффективен для упрочнения сталей и получения профилей. В результате экструзии и винтового прессования объемных заготовок из конструкционных сталей 09Г2С и Ст3сп достигнуто повышение предела текучести в 1,8-2 раза, предела прочности 1,4-1,5 раза и снижение пластичности в 1,6-1,75 раза для стали 09Г2С. Для стали Ст3сп эти показатели следующие: повышение предела текучести в 1,7-2 раза, предела прочности в 1,35-1,5 раза, понижение пластичности в 1,7-1,8 раза. При более низкой температуре ЭВП достигнуты более высокие значения характеристик прочности и более низкая пластичность для обеих марок сталей. Повышение прочности сталей связано с измельчением зерен и повышением плотности дислокаций в результате комбинированной обработки.

Исследование выполнено в рамках научного проекта № III.28.1.1 по программе III.28.1 СО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Сегал, В.М. Процессы пластического структурообразования металлов / В.М. Сегал, В.И. Резников, В.И. Копылов и др. – Минск: Наука и техника, 1994. 231 с.
2. Валиев, Р.З. Объемные наноструктурные металлические материалы: получение, структура и свойства / Р.З. Валиев, И.В. Александров. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. 398 с.
3. Бейгельзимер, Я.Е. Винтовая экструзия – процесс накопления деформации / Я.Е. Бейгельзимер, В.Н. Варюхин, Д.В. Орлов, С.Г. Сынков. – Донецк: Фирма ТЕАН, 2003. 87 с.
4. Моисеев, Н.В. Энергоэффективная технология получения длинномерных полуфабрикатов методом изотермической экструзии из конструкционных титановых сплавов ВТ6, ВТ16 / Н.В. Моисеев, Б.Р. Некрасов, С.В. Выдумкина // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2015. №8. С. 35-38.
5. Завдовеев, А.В. Особенности формирования структуры и свойств малоуглеродистой стали при теплой винтовой экструзии // Физика и техника высоких давлений. 2013. Т. 23. №4. С. 100-106.
6. Пашинская, Е.Г. Влияние деформации со сдвигом на микроструктуру и механические свойства стали Ст3 / Е.Г. Пашинская, М.М. Мышляев, С.Ю. Миронов, В.Н. Варюхин // Физика металлов и металловедение. 2008. Т. 105. №1. С. 86-94.
7. Иванов, А.М. Влияние экструзии и винтового прессования на структуру и механические свойства низколегированной стали / А.М. Иванов, Н.Д. Петрова, В.В. Лепов // Наука и образование. 2015. №4 (80). С. 87-90.
8. Иванов, А.М. Способ комбинированной интенсивной пластической деформации заготовки / А.М. Иванов, Г.И. Рааб, Н.Д. Петрова. Пат. 2570271 (РФ). 2015.

CONSTRUCTIONAL STEELS PROCESSING BY COMBINE IMPACT OF EXTRUSION AND SCREW PRESSING

© 2016 N.D. Kovalenko, A.S. Syromyatnikova, V.V. Lepov, A.M. Ivanov

V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North SB RAS, Yakutsk

Impact of combined processing by extrusion and screw pressing on structure, mechanical properties and fracture mechanism in constructional steels is considered. It is shown that the specified type of processing leads to increase the strength characteristics that is connected with grains crushing and increase the density of dislocations. It is established that reliefs of breaks of steel samples after the combined deformation have no considerable differences in comparison with an initial state, and fracture of samples has happened on the viscous mechanism.

Key words: extrusion, screw pressing, steel, structure, mechanical properties, fracture mechanism

Nyurguyana Kovalenko, Minor Research Fellow. E-mail: nakalykay@mail.ru;

Aytalina Syromyatnikova, Candidate of Physics and Mathematics, Leading Research Fellow. E-mail: a.s.syromyatnikova@mail.ru;

Valeriy Lepov, Doctor of Technical Sciences, Deputy Director. E-mail: lepov@iptpn.ysn.ru;

Afanasiy Ivanov, Candidate of Technical Sciences, Leading Research Fellow. E-mail: a.m.ivanov@iptpn.ysn.ru