

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.77.014

Лисовенко Д.С., Полякова М.А., Столяров А.Ю., Гулин А.Е., Никитенко О.А.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ ПРОВОЛОКИ И ВОЛОКИ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ ВОЛОЧЕНИЕМ С КРУЧЕНИЕМ

Аннотация: Установлено, что в процессах обработки металлов давлением при контактном взаимодействии обрабатываемой заготовки и инструмента на поверхности металла образуется слой, который не поддается травлению. В научной литературе он определяется как «белый слой». Волочение характеризуется разноименной схемой напряженного состояния обрабатываемой проволоки, поэтому для повышения эффективности данного процесса рассматривается возможность его комбинирования с кручением. В статье приведены результаты моделирования комбинированной деформационной обработки волочением с кручением в программном комплексе Deform-3D. Результаты моделирования показали, что при наложении деформации скручиванием величина сжимающих напряжений на поверхности контакта проволоки с волокой уменьшается. Проведены исследования особенностей микроструктуры поверхности высокоуглеродистой проволоки из стали марки 70 после комбинированной деформационной обработки волочением с кручением. Показано, что с увеличением скорости кручения толщина белого слоя на поверхности обрабатываемой проволоки уменьшается. Изучено влияние скорости кручения на механические свойства высокоуглеродистой проволоки при комбинировании волочения с кручением. Значения временного сопротивления разрыву высокоуглеродистой проволоки из стали марки 70 практически не изменяются, при увеличении скорости кручения наблюдается увеличение значений относительного удлинения.

Ключевые слова: белый слой, высокоуглеродистая проволока, комбинированная обработка, волочение, кручение, микроструктура, механические свойства.

Введение

Одной из важных прикладных задач при проектировании технологических процессов обработки давлением является не только достижение требуемых показателей качества продукции, но и обеспечение заданных высоких значений прочностных и пластических свойств. Как известно, эффективность деформационной обработки в значительной степени зависит от контактного взаимодействия инструмента и обрабатываемой заготовки [1-4 и др.]. Однако до настоящего времени единых научно обоснованных подходов к прогнозированию эффективности и результативности процессов деформационной обработки металлов и сплавов и последующих технологических операций обработки давлением не существует. Это связано с тем, что процессы упрочнения стали при обработке давлением представляют собой комплексное воздействие множества факторов. Факторы, влияющие на упрочнение стали в процессах обработки давлением, можно разделить по области влияния на внешние и внутренние. К внутренним относятся химический состав и структура стали, определяемая химическим составом в сочетании с термической обработкой. К внешним факторам относятся схема и условия деформации, температура.

В основе известных методов обработки металлов давлением лежат такие схемы пластической

деформации, как растяжение, сжатие, изгиб, кручение и др. Использование различных схем деформирования приводит к изменению структуры и свойств обрабатываемого металла. Существующие схемы пластической деформации оказывают различное влияние на структуру и механические свойства обрабатываемых металлов. При этом особую роль играют механизмы контактного взаимодействия обрабатываемого металла и инструмента. Это обуславливает формирование на поверхности металла слоя, не поддающегося травлению, который в научной литературе называется «белый слой» [5-8 и др.].

Волочение в конической волоке является базовой операцией при производстве проволоки. Разноименная схема напряженного состояния металла в деформационной зоне при волочении, характеризуемая одним растягивающим и двумя сжимающими главными напряжениями, создает условия, при которых пластичность протягиваемого металла значительно ниже по сравнению почти со всеми процессами обработки давлением, за исключением растяжения. Это обстоятельство обуславливает использование сравнительно низких единичных деформаций при волочении за переход.

Одним из способов, повышающих эффективность волочения проволоки, является применение вращения волоки или проволоки. Из имеющихся в литературе данных следует, что с увеличением скорости вращения волоки эффективность волочения возрастает, а величина

напряжения волочения уменьшается [9-11 и др.]. Однако сложная схема напряженно-деформированного состояния обрабатываемой заготовки при совмещении волочения с кручением обуславливает специфическое взаимодействие обрабатываемой заготовки с инструментом, в значительной степени усложняя его теоретико-экспериментальное исследование.

В настоящее время существует целый ряд полупромышленных способов и устройств, позволяющих реализовать совмещение волочения с кручением [12-15], каждый из которых имеет свои технические и технологические особенности. Несмотря на проведенные авторами исследования, недостаточно внимания уделяется особенностям контактного взаимодействия обрабатываемой заготовки и инструмента, специфике структуро- и свойствообразования в поверхностном контактном слое.

Материалы и методы

Целью настоящего исследования является изучение изменения микроструктуры и механических свойств высокоуглеродистой проволоки из стали марки 70 при комбинированном деформационном воздействии с кручением. Для проведения комплекса экспериментальных исследований была использована установка, обеспечивающая комбинирование волочения с кручением и изгибом [16, 17]. Преимуществом данной установки является возможность комбинирования различных схем деформации без перенастройки инструмента. Для изучения влияния деформационной обработки волочением с кручением ролики были установлены таким образом, чтобы исключить деформацию изгибом (рис. 1).

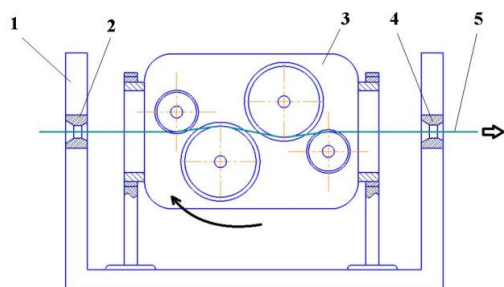


Рис. 1 Принципиальная схема установки, обеспечивающей комбинирование волочения с кручением: 1 – станина; 2, 4 – ролики; 3 – четырехроликковое устройство; 5 – проволока (стрелкой показано направление движения проволоки)

При прохождении проволоки через ролики осуществляется деформация растяжением и сжатием, а кручение блока роликов обеспечивает деформацию скручиванием. Основными технологическими параметрами разработанного процесса являются

величины обжатий в волоках, а также скорость вращения четырехроликкового устройства. Для проведения исследований были выбраны следующие режимы деформационной обработки: волочение по режиму 3,0 – 2,7 – 2,45 мм, относительное обжатие в первой волоке 19%, относительное обжатие во второй волоке 18%, суммарная степень деформации 34%, деформацию кручением изменяли от 0 до 200 об/мин.

В качестве объекта исследования была выбрана проволока диаметром 3,0 мм из высокоуглеродистой стали марки 70 после патентирования. Химический состав стали марки 70 приведен в таблице.

Содержание химических элементов стали марки 70

	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
Содержание	0,72	0,17	0,5	до 0,2	до 0,03	до 0,03	до 0,25	до 0,1
эл., %	0,8	0,37	0,8	5	5	5	2	2

Результаты и обсуждение

Было проведено моделирование волочения при вращении заготовки в программном комплексе Deform-3D (лицензия Machine 38808) для различных технологических параметров деформационной обработки. Для моделирования заготовки и инструмента использовали упруго-пластическую и упругую среды соответственно. Скорость вращения варьировали от 0 до 150 об/мин с шагом в 50 об/мин. На рис. 2-4 представлено распределение значений максимальных сжимающих (радиальных) напряжений на поверхности заготовки и инструмента на выходе из калибрующего пояска.

Результаты моделирования показали, что при наложении деформации скручиванием величина сжимающих напряжений на поверхности контакта проволоки с волокой уменьшается. Исследование особенностей микроструктуры поверхности высокоуглеродистой проволоки после деформационной обработки с кручением (рис. 5) подтвердили, что при увеличении степени деформации скручиванием толщина белого слоя уменьшается.

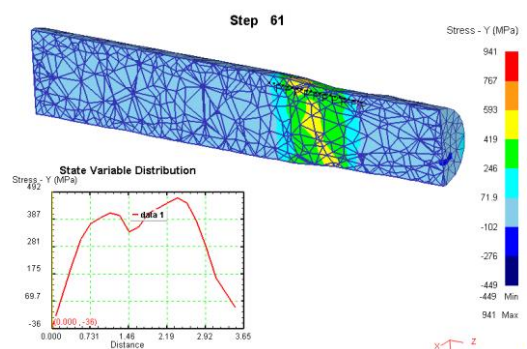


Рис. 2 Распределение сжимающих напряжений вблизи поверхности контакта в очаге деформации при волочении заготовки исходного диаметра 3,00 мм без кручения

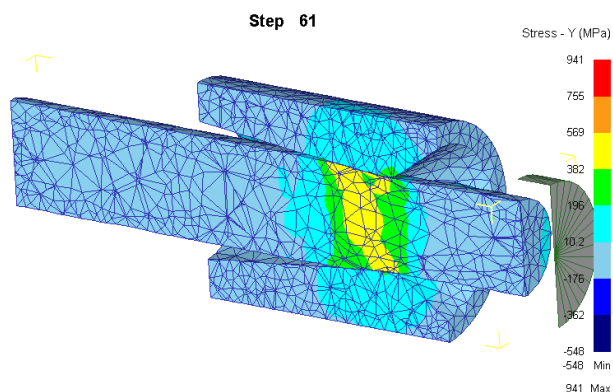


Рис. 3 Радиальные напряжения при волочении заготовки исходного диаметра 3,00 мм без кручения

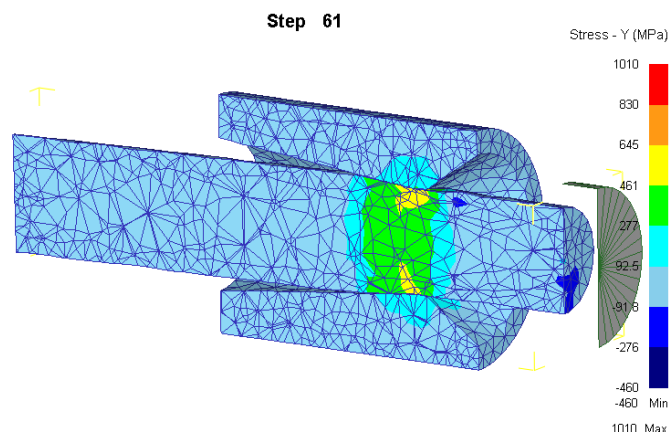


Рис. 4 Радиальные напряжения при волочении заготовки исходного диаметра 3,00 мм с кручением 150 об/мин

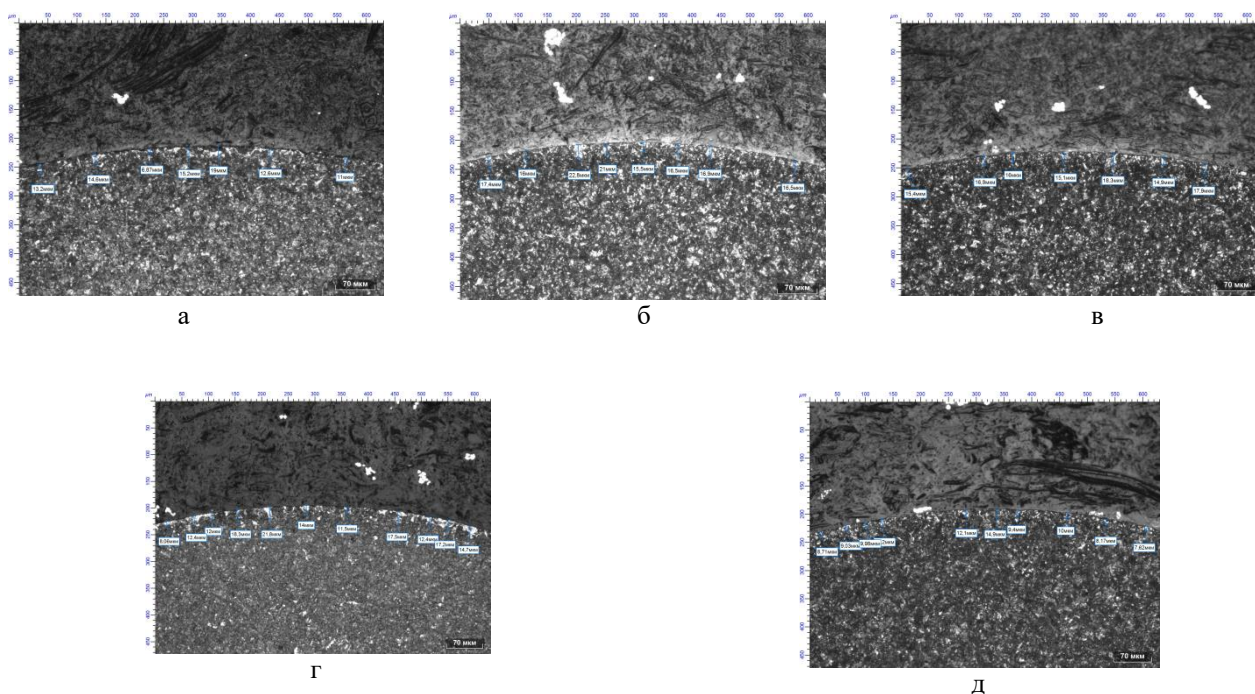


Рис. 5 Микроструктура поверхности высокоуглеродистой проволоки из стали марки 70 после различных видов деформационного воздействия: а – волочение по режиму 3,0-2,7-2,45 мм); б – волочение с кручением 50 об/мин; в - волочение с кручением 100 об/мин; г – волочение с кручением 150 об/мин; д - волочение с кручением 200 об/мин

При этом при увеличении скорости кручения на некоторых участках поверхности белый слой не наблюдается. Это можно объяснить тем, что при увеличении степени деформационной обработки перлитные колонии, находящиеся на поверхности обрабатываемой проволоки, могут ориентироваться таким образом, что становятся неразличимы методом оптической микроскопии.

Результаты исследования механических свойств высокоуглеродистой проволоки из стали

марки 70 после комбинированной обработки волочением с кручением представлены на рис. 6.

Из полученных данных видно, что при деформационной обработке волочением наложение деформации скручивания практически не оказывает влияние на прочностные свойства высокоуглеродистой проволоки. Однако при увеличении скорости кручения наблюдается увеличение значений относительного удлинения.

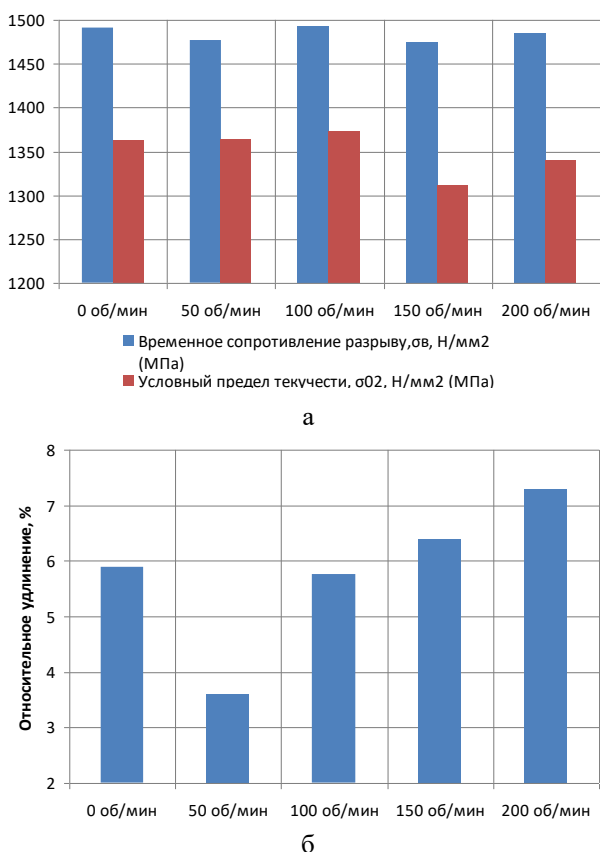


Рис. 6 Механические свойства высокоуглеродистой проволоки из стали марки 70 после волочения по режиму 3,0-2,7-2,45 мм при различных скоростях кручения: а – временное сопротивление разрыву и условный предел текучести; б – относительное удлинение

Выводы

В результате проведенных исследований показано, что в процессе комбинированной деформационной обработки волочением с кручением действия реактивных сил трения на поверхности деформируемого материала генерируется тонкий слой, деформация в котором проходит с повышенной интенсивностью, что характерно и для других процессов обработки металлов давлением. Комбинирование волочения с кручением не оказывает значительного влияния на механические свойства высокоуглеродистой проволоки из стали марки 70. Полученные результаты могут быть полезны для получения аналитических зависимостей толщины белого слоя от режимов комбинированной деформационной обработки.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 18-19-00736.

Список литературы

1. Griffiths B.J. Mechanisms of white layer generation with reference to machining and deformation processes // Journal of Tribology. 1987, July. Vol. 109. P. 525-530.
2. Александров С.Е., Гольдштейн Р.В. К построению определяющих уравнений в тонком слое материала вблизи поверхностей трения в процессах обработки материалов давлением // Доклады академии наук. 2015. Т. 460(3). С. 1-3.
3. Александров С.Е., Гольдштейн Р.В. О подобию эволюции размера зерна вблизи поверхностей трения и в процессе равноканальной экструзии // Доклады академии наук. 2015. Т. 460. №3. С. 1-3.
4. Леванов А.Н. Контактное трение в процессах обработки металлов давлением. М.: Металлургия, 1976. 416 с.
5. Griffiths B.J. Mechanisms of White Layer Generation with Reference to Machining and Deformation Processes // Journal of Tribology. 1987. Vol. 109. P. 525-530.
6. Griffiths B.J., Furze D.C. Tribological Advantages of White Layers Produced by Machining // Journal of Tribology. 1987. Vol. 109. P. 338-342.
7. Huang X., Zhou Z., Ren Y., Mao C., Li W. Experimental Research Material Characteristics Effect on White Layers Formation in Grinding of Hardened Steel // Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2013. Vol. 66(9-12). P. 1555-1561.
8. Ramesh A., Melkote S.N., Allard L.F., Riester L., Watkins T.R. Analysis of white layers formed in hard turning of AISI 52100 steel // Mater Sci Eng. 2005. Vol. 390(1). P. 88-97.
9. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Оценка эффективности способов волочения с кручением при изготовлении углеродистой проволоки с УМЗ-структурой // Письма о материалах. 2016. Т. 6. № 2(22). С. 116-121.
10. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Влияние кручения на степень деформации при различных способах волочения круглой проволоки // Моделирование и развитие процессов ОМД. 2018. №25. С. 52-58.
11. Николаев В.А. Напряжение волочения металла с вращением волоки // Изв. вузов. Черная металлургия. 2006. № 11. С. 27-30.
12. Демидов А.В. Способы изготовления холоднотянутой проволоки повышенной пластичности путем дополнительных радиальных деформаций // Метизы. 2008. № 1(17). С. 34-36.
13. Щедрин А.В. Перспективные методы комбинированного волочения // Производство проката. 2007. № 10. С. 25-28.

14. Климов К.М. Альтернативные пути получения прутков и проволоки // Металлург. 2007. № 9. С. 47 – 49.
15. Пат. №2347633 Российская Федерация. Способ получения ультрамелкозернистых полуфабрикатов волочением со сдвигом / Рааб Г. И., Рааб А. Г. 2009. Бюл. № 6.
16. Пат. №2467816 Российская Федерация, МПК В21С 1/04, В21С 1/00. Способ получения ультрамелкозернистых полуфабрикатов волочением с кручением / М.В. Чукин, М.А. Полякова, Э.М. Голубчик, В.П. Рудаков, С.Е. Носков, А.Е. Гулин. 2012. Бюл. № 33.
17. Пат. №130525 Российская Федерация, МПК В21С 1/00. Устройство для изготовления проволоки с ультрамелкозернистой структурой / М.А. Полякова, М.В. Чукин, Э.М. Голубчик, А.Е. Гулин. 2013. Бюл. 21.

Сведения об авторах

Лисовенко Дмитрий Сергеевич – канд. физ. – мат. наук, зав. лабораторией механики технологических процессов, Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва, Россия. E-mail: lisovenk@ipmnet.ru

Полякова Марина Андреевна – д-р техн. наук, проф. кафедры технологий обработки материалов, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: m.polyakova@magtu.ru

Столяров Алексей Юрьевич – канд. техн. наук, гл. специалист по технологии, ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ», Магнитогорск, Россия. E-mail: a.stolyarov@mmk-metiz.ru

Гулин Александр Евгеньевич – канд. техн. наук, доц. кафедры технологий обработки материалов, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: a.gulin@magtu.ru

Никитенко Ольга Александровна – канд. техн. наук, ст. преп. кафедры технологий обработки материалов, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: o.nikitenko@magtu.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

INVESTIGATION OF AFFECT OF COMBINED DEFORMATIONAL PROCESSING BY DRAWING WITH TORSION ON HIGH CARBON STEEL WIRE MECHANICAL PROPERTIES

Lisovenko Dmitrii Sergeevich - PhD (Physical and Mathematical Sciences), head of the Laboratory of Mechanics of Technological Processes Ishlinski Institute for Problems in Mechanics of the Russian Academy of Sciences. E-mail: lisovenk@ipmnet.ru

Polyakova Marina Andreevna - D. Sc. (Eng.), professor of Materials Processing Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: m.polyakova@magtu.ru

Stolyarov Alexey Yurievich - PhD (Eng.), chief specialist on Technology OJSC “Magnitogorsk hardware and sizing plant “ММК-МЕТИЗ”. E-mail: a.stolyarov@mmk-metiz.ru

Gulin Alexandr Evgenyevich - PhD (Eng.), associate Professor of Materials Processing Department, Nosov Magnitogorsk state technical university. E-mail: a.gulin@magtu.ru

Nikitenko Olga Alexandrovna - PhD (Eng.) assistant Professor of Materials Processing Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: o.nikitenko@magtu.ru

Abstract: It is stated that during metal processing at contact interaction of a processed workpiece and a tool on the metal surface the layer is formed which is not subjected to pickling. In scientific literature this layer is denoted as "white layer". Drawing is characterized by dissimilar strain state of the processed wire that is why it is proposed to combine it with torsion in order to improve its effectiveness. Results of simulation of combined deformational processing by drawing with torsion in Deform-3D software were presented in the paper. It was shown that after application of torsion deformation the level of compression strain on the contact surface between the wire and the die decreases. Investigation of high carbon steel wire microstructure peculiarities on the surface after combined deformational processing by drawing with torsion was performed. It was shown that white layer thickness on the surface of the processed wire decreased with torsion rate increase. Effect of torsion rate on high carbon steel wire at combination of drawing with torsion was examined. High carbon steel wire with 0.7%C tensile strength did not change significantly, but relative elongation increased at torsion rate growth.

Keywords: white layer, high carbon steel wire, combined deformational processing, drawing, torsion, microstructure, mechanical properties

Ссылка на статью:

Лисовенко Д.С., Полякова М.А., Столяров А.Ю., Гулин А.Е., Никитенко О.А. Экспериментальное исследование контактного взаимодействия высокоуглеродистой проволоки и волоки при комбинированной деформационной обработке волочением с кручением // Теория и технология металлургического производства. 2019. №1(28). С. 35-40.

Lisovenko D.S., Polyakova M.A., Stolyarov A.Yu., Gulín A.E., Nikitenko O.A. Investigation of affect of combined deformational processing by drawing with torsion on high carbon steel wire mechanical properties *Teoriai tecnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2019, vol. 28, no. 1, pp.35-40.

Теория и технология металлургического производства