

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.778.01

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ВОЛОЧЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНОЙ АРМАТУРНОЙ ПРОВОЛОКИ

Головизнин С.М.¹, Покачалов В.В.¹, Пыхов Л.Э.²¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия² Белорецкий металлургический комбинат, Белорецк, Россия

Аннотация. Проведено исследование зависимости механических свойств высокопрочной арматурной проволоки от скорости волочения. Исследование проводилось для двух сталей с различным химическим составом. Были выполнены эксперименты для скоростей волочения 4,0 и 6,3 м/с. На готовой проволоке измерены предел прочности, предел текучести, относительное удлинение и распределение микротвердости по сечению проволоки. Показано, что механические свойства проволоки зависят от скорости волочения. Полученные зависимости существенно отличаются для сталей с различным химическим составом.

Ключевые слова: волочение стальной проволоки, высокопрочная арматурная проволока, скорость волочения, механические свойства.

Введение

Изготовление высокопрочной арматурной проволоки – достаточно сложная задача. Арматурная проволока должна быть прочной, чтобы выдерживать нагрузки при эксплуатации и при этом не должна быть хрупкой, чтобы предотвратить разрывы при эксплуатации и натяжении [1, 13, 14]. Мировой тенденцией в области технологий производства высокопрочной арматуры является переход от технологий горячей прокатки и термического упрочнения к технологиям деформационного упрочнения в сочетании с последующей механо-термической обработкой [2]. Прочностные характеристики проволоки растут с увеличением содержания углерода, но при этом проволока становится более хрупкой. На практике это противоречие пытаются разрешить применением легированных сталей, например сталей с повышенным содержанием ванадия и хрома. Условия волочения с применением высокопрочных сталей, в частности зависимость механических свойств от скорости волочения, имеют свои особенности [3–5]. Влияние скорости протяжки на механические свойства и условия высокоскоростного волочения высокопрочной проволоки в настоящее время изучено недостаточно [6–9, 12].

Цель работы – исследование влияния скорости на механические свойства высокопрочной арматурной проволоки.

Методика и результаты эксперимента

В работе проводилось волочение проволоки из стали 80 по маршруту 10,0-8,95-8,05-7,23-6,55-5,95-5,45-5,03 мм со скоростями волочения 6,3 и 4,0 м/с, волочение проволоки из стали марки 80Ф-1 по маршруту 9,0-8,05-7,23-6,55-5,95-5,45-5,03 мм со скоростями волочения 6,3 и 4,0 м/с. На готовой проволоке измерили механические свойства, такие как предел прочности, предел текучести, относительное удлинение и распределение микротвердости по сечению проволоки.

Химический состав рассмотренных марок стали (%)

Марка стали	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Al	Mo	V	Ti
80	0,82	0,68	0,28	0,007	0,012	0,04	0,04	0,05	0,04	0,02	0,007	0,004
80Ф-1	0,81	0,68	0,21	0,004	0,015	0,09	0,004	0,05	0,03	0,02	0,07	0,004

На рис. 1 представлена зависимость, отражающая влияние скорости волочения на прочностные свойства арматурной проволоки из стали 80Ф-1, легированной хромом и ванадием. Согласно представленным данным прочностные свойства готовой проволоки (временное сопротивление и предел текучести) растут с увеличением скорости волочения.

На рис. 2 представлена зависимость проч-

ностных свойств готовой арматурной проволоки из стали 80 от скорости волочения. В отличие от аналогичной зависимости для стали 80Ф-1, прочностные свойства проволоки уменьшаются, что можно объяснить более сильной зависимостью механических свойств проволоки от температуры, чем в предыдущем случае.

На рис. 3 представлена зависимость пластических свойств от скорости волочения арматурной проволоки из стали марки 80Ф-1.

Согласно представленным данным пластические свойства проволоки уменьшаются с увеличением скорости волочения.

На рис. 4 представлена зависимость пластических свойств от скорости волочения для стали марки 80. Из представленных зависимостей можно сделать вывод, что в отличие от стали, легированной хромом и ванадием, пластические свойства проволоки из стали 80 имеют тенденцию к увеличению с ростом скорости волочения.

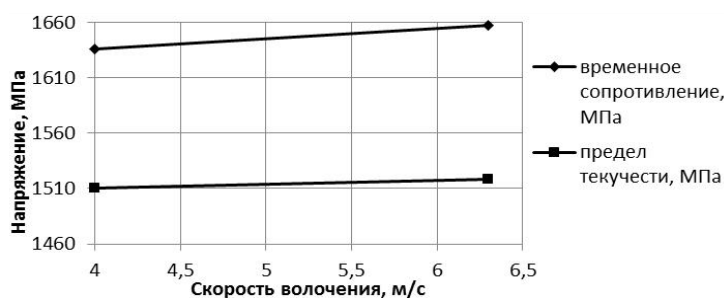


Рис. 1. Зависимость предела текучести и временного сопротивления от скорости волочения для стали 80Ф-1

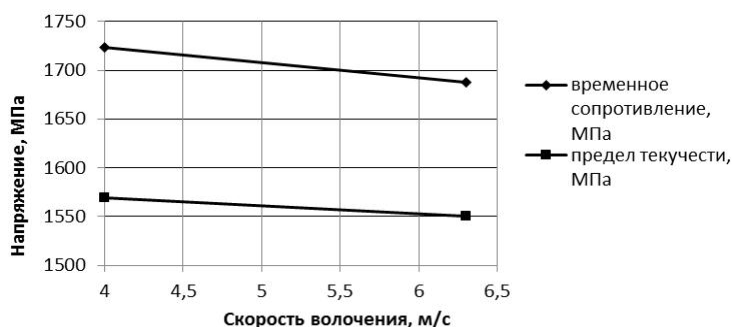


Рис. 2. Зависимость предела текучести и временного сопротивления от скорости волочения для стали 80

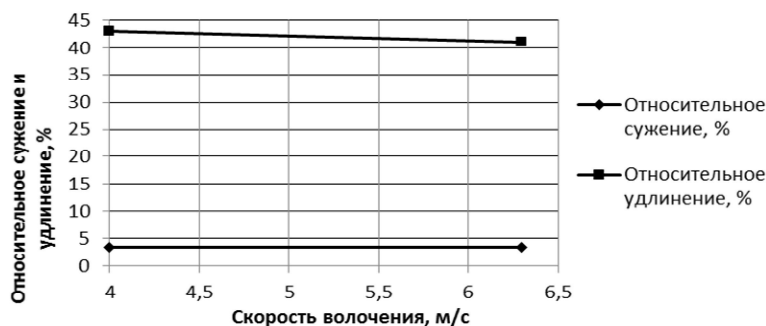


Рис. 3. Зависимость относительного сужения и удлинения от скорости волочения для стали 80Ф-1

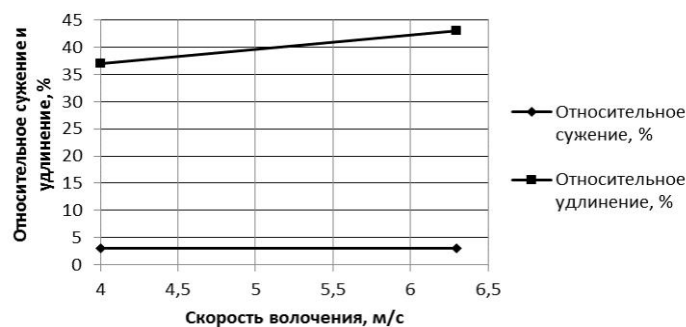


Рис. 4. Зависимость относительного сужения и удлинения от скорости волочения для стали 80

Пластические свойства проволоки из стали 80, как и 80Ф-1, меняются противоположно прочностным свойствам, то есть рост прочностных свойств сопровождается снижением пластических свойств проволоки. Анализ представленных зависимостей показывает, что скорость волочения по-разному влияет на механические свойства готовой арматурной проволоки. Прочностные свойства проволоки из легированной стали с ростом скорости волочения растут, а пластические свойства уменьшаются. У стали 80, наоборот, прочностные свойства уменьшаются, а пластические имеют тенденцию к росту. Температура высокопрочных сталей может значительно возрастать при увеличении скорости волочения [5, 8, 11]. Температурные зависимости механических свойств исследуемых сталей отличаются [10], и в случае применения стали 80 это может привести к тому, что с ростом температуры может наблюдаться снижение прочностных и повышение пластических свойств проволоки.

На рис. 5, 6 представлено распределение микротвердости по сечению готовой арматурной проволоки диаметром 5 мм из стали 80 и 80Ф-1 для двух различных скоростей.

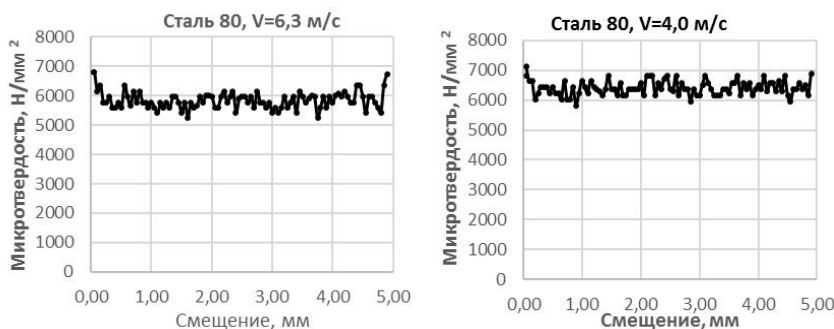


Рис. 5. Распределение микротвердости по сечению проволоки для стали 80

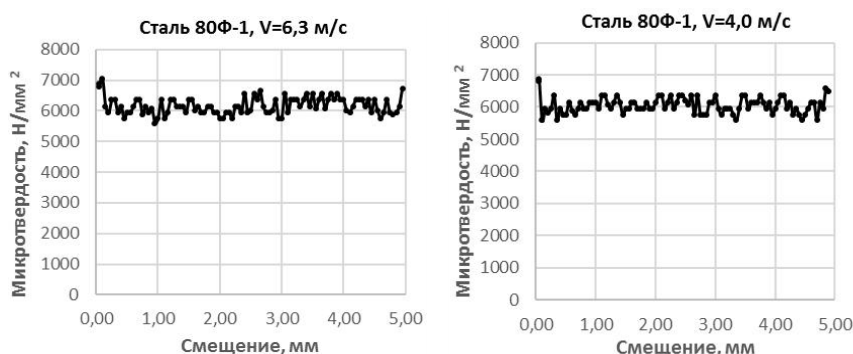


Рис. 6. Распределение микротвердости по сечению проволоки для стали 80Ф-1

Зависимости средних значений микротвердости по сечению проволоки от скорости волочения для стали 80 и 80Ф-1 представлены на рис. 7.

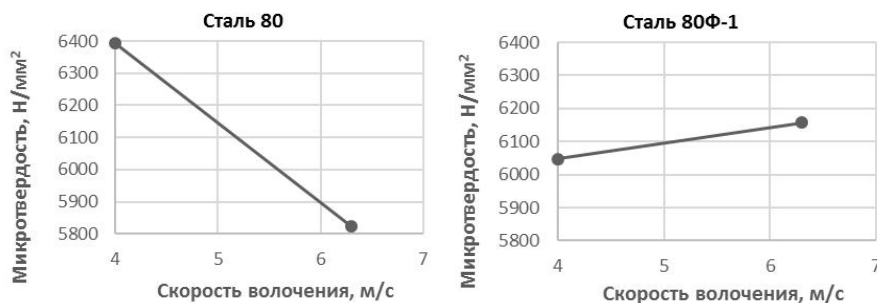


Рис. 7. Зависимость средней по сечению микротвердости от скорости волочения

Можно отметить, что на представленных зависимостях характер распределения микротвердости по сечению проволоки имеет одинаковый характер. Это повышенная микротвердость в приповерхностном слое проволоки и относительно равномерное распределение по объёму проволоки. Как правило, повышенная твёрдость в приповерхностном слое появляется уже на стадии изготовления катанки. Это связано с условиями охлаждения катанки, так как приповерхностный слой охлаждается более интенсивно, чем сердцевина катанки, а также с условиями деформации, так как при прокатке и при волочении скорость деформации на поверхности, как правило, выше, чем в объёме изделия. При волочении арматурной проволоки эта тенденция сохраняется, так как температурные и деформационные условия на поверхности и в центральных областях проволоки значительно отличаются. В работе [2] также отмечено увеличение микротвердости арматурной проволоки в направлении от центра к поверхности.

Выводы

Показано, что механические свойства готовой арматурной проволоки существенно зависят от скорости волочения. Характер зависимостей механических свойств от скорости волочения меняется при использовании заготовки из различных марок стали. Изменение микротвердости коррелирует с изменениями механических свойств готовой проволоки. Распределение микро-

твердости по сечению проволоки имеет одинаковый вид для всех исследованных режимов волочения и марок стали. Характерной особенностью распределения является повышенная микротвердость в приповерхностном слое проволоки. Поверхностный слой формируется на этапе изготовления катанки и при волочении проволоки. Механические свойства внешних слоёв проволоки определяются повышенной температурой, ускоренным охлаждением и более высокой скоростью деформации на поверхности заготовки при прокатке катанки и волочении проволоки. Основными конкурирующими факторами, влияющими на механические свойства проволоки при волочении, являются увеличение сопротивления деформации и температуры с ростом скорости деформации. Оба фактора влияют на условия деформации в противоположных направлениях и результат их действия зависит от степени преобладания того или другого фактора. Наблюдаемый эффект понижения прочностных свойств при увеличении скорости волочения связан с тем, что температурный эффект в данном случае является преобладающим.

Список литературы

1. Юхвев И.А. Производство высокопрочной проволочной арматуры. М.: Металлургия, 1973. 264 с.
2. Особенности деформационной обработки высокопрочной арматуры для железобетонных шпал нового поколения / А.Г. Корчунов, М.В. Чукин, Г.С. Гун и др. // Вестник ЮУрГУ. 2011. № 36. С. 76–80.
3. Харитонов В.А., Головизнин С.М. Проектирование режимов высокоскоростного волочения проволоки на основе моделирования: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. 117 с.
4. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Теория волочения. М.: Металлургия, 1971. 448 с.
5. Мейерс М.А. и Мур Л.Е. Ударные волны и явления высокоскоростной деформации металлов: пер. с англ. М.: Металлургия, 1984. 512 с.
6. Enghag, Per. Steel wire technology. Sweden. Örebro University, 2009. 351 p.
7. Wright, Roger N. Wire technology: process engineering and metallurgy. Elsevier, 2011. 320 p.
8. B. Golis, J.W. Pilarczyk, Z. Muskalski et al. Strain rate in wire drawing process // Wire Industry. 2004. № 840. P. 200, 202–206.
9. George E. Dieter, Howard A. Kuhn, S. Lee Semiatin. Handbook of workability and process design. Materials Park, OH: ASM International, 2003. 414 p.
10. Sang-Kon Lee, Seon-Bong Lee, Byung-Min Kim. Process design of multi-stage wet wire drawing for improving the drawing speed for 0.72 wt% C steel wire // Journal of Materials Processing Technology. 210 (2010), 776–783.
11. Третьяков А.В., Зюзин В.И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением. М.: Металлургия, 1973. 224 с.
12. Харитонов В.А., Головизнин С.М. Расчёт скоростных напряжений при протяжке проволоки в клиновидном очаге деформации // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2005. №3(11). С. 48–50.
13. Покачалов В.В., Терских С.А., Терских Д.С. Особенности изготовления арматурной проволоки из сорбитизированной катанки с учетом проявления масштабного эффекта // Обработка сплошных и слоистых материалов.: межвуз. сб. науч. тр. Вып. 35. Магнитогорск: МГТУ, 2008. С. 68–73.
14. Сравнительный анализ современных требований к арматурному прокату для ненапряженного железобетона / Снимщиков С.В., Суриков И.Н., Харитонов В.А., Харитонов В.А. // Обработка сплошных и слоистых материалов. 2014. № 2. С. 56–59.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

EFFECTS OF WIRE DRAWING SPEED ON MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH-STRENGTH REINFORCING WIRE

Goloviznin Sergey Mikhailovich – Ph.D. (Eng.), Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: golovz@mail.ru.

Pokachalov Victor Vladimirovich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Pykhov Leonid Ernstovich – Head of the central laboratory, OJSC Beloretsk Metallurgical Plant, Beloretsk, Russia.

Abstract. The article deals with effects of wire drawing speed on mechanical properties of high-strength reinforcing wire. Two steels of different chemical composition were studied. Experiments were carried out for wire drawing at 4,0 m/s and 6,3 m/s. Tensile strength, yield strength, tensile elongation, and cross-sectional micro-hardness distribution were measured. The experiments demonstrated that mechanical properties depended on the drawing rate. There is a dramatic difference in dependencies obtained for steels of different chemical composition.

Keywords: Steel wire drawing, high-strength reinforcing wire, wire drawing speed, mechanical properties.

References

1. Yuhvets I.A. *Proizvodstvo vysokoprochnoy provolochnoy armatury* [High-strength reinforcing wire production]. Moscow: Metallurgizdat, 1973. 264 p.
2. Korchunov A.G., Chukin M.V., Gun G.S. i dr. *Vestnik YuUrGU* [Bulletin SUSU]. 2011, no. 36, pp. 76–80.
3. Kharitonov V.A., Goloviznin S.M. *Proektirovanie rezhimov vysokoskorostnogo volocheniya provoloki na osnove modelirovaniya: monografiya* [Simulation-based design of high-speed wire-drawing schedules: monography]. Magnitogorsk, 2011, 117 p.
4. Perlin I.L., Ermanok M.Z. *Teoriya volocheniya* [Theory of wire drawing]. Moscow: Metallurgiya, 1971. 448 p.
5. Meyers M.A., Murr L.E. *Shock waves and High-Strain-Rate Phenomena in Metals*: Translated from English. Moscow: Metallurgiya, 1984. 512 p.
6. Enghag, Per. *Steel wire technology*. Sweden. Örebro University. 2009. 351 p.
7. Wright, Roger N. *Wire technology: process engineering and metallurgy*. Elsevier. 2011. 320 p.
8. Golis B., Pilarczyk J.W., Muskalski Z. et al. Strain rate in wire drawing process. *Wire Industry*. 2004, no. 840, pp. 200, 202–206.
9. George E. Dieter, Howard A. Kuhn, S. Lee Semiatin. *Handbook of workability and process design*. Materials Park, OH: ASM International. 2003, 414 p.

10. Sang-Kon Lee, Seon-Bong Lee, Byung-Min Kim. Process design of multi-stage wet wire drawing for improving the drawing speed for 0.72 wt% C steel wire. *Journal of Materials Processing Technology*. 210 (2010), pp. 776–783.
11. Tretyakov A.V., Zyuzin V.I. *Mekhanicheskie svoystva metallov i splavov pri obrabotke davleniem* [Metal and alloy mechanics under metal forming conditions]. Moscow: Metallurgiya, 1973. 224 p.
12. Kharitonov V.A., Goloviznin S.M. Calculation of velocity stresses in a wedge-like deformation zone at wire-drawing. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2005, no. 3 (11), pp. 48–50.
13. Pokachalov V.V., Tersikh S.A., Tersikh D.S. Reinforcing wire production from sorbitised rods considering the scale effect observed. *Obrabotka sploshnykh i sloistnykh materialov: mezhvuz. sb. nauch. tr., vyip. 35* [Solid and layered material processing: interinstitutional collection of scientific works, no. 35]. Magnitogorsk, 2008, pp. 68–73.
14. Snimshikov S.V., Surikov I.N., Kharitonov A.V., Kharitonov V.A. Comparative analysis of current requirements to reinforcing rolled products for non-tensioned reinforced concrete. *Obrabotka sploshnykh i sloistnykh materialov* [Solid and layered material processing]. 2014, no. 2, pp. 56–59.

Головизнин С.М., Покачалов В.В., Пыхов Л.Э. Влияние скорости волочения на механические свойства высокопрочной арматурной проволоки // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. №4. С. 71–75.

Goloviznin S.M., Pokachalov V.V., Pykhov L.E. Effects of wire drawing speed on mechanical properties of high-strength reinforcing wire. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2015, no. 4, pp. 71–75.

УДК 621.789

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ АСИММЕТРИЧНОЙ ПРОКАТКЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ*

Песин А.М., Пустовойтов Д.О., Вафин Р.К.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

Аннотация. В работе на основе математического моделирования методом конечных элементов выполнено численное исследование закономерностей деформационного разогрева металла и формирования температурного поля в очаге деформации при холодной асимметричной прокатке чистого алюминия Al 99,5% и высокопрочных сплавов Al 5083 и Al 7075 в условиях сверхвысоких сдвиговых деформаций. Установлены закономерности влияния коэффициента контактного трения, скорости прокатки, радиуса валков, степени деформации, а также прочностных свойств алюминиевых сплавов на температуру деформационного разогрева прокатываемых полос. Результаты исследования могут быть полезны при разработке оптимальных режимов асимметричной прокатки алюминиевых сплавов в условиях сверхвысоких сдвиговых деформаций для получения УМЗ структуры и повышенных прочностных свойств.

Ключевые слова: асимметричная прокатка, сдвиговая деформация, метод конечных элементов, интенсивная пластическая деформация, алюминиевый сплав, деформационный разогрев.

Введение

Создание новых легких и сверхпрочных материалов для автомобильной, аэрокосмической и других отраслей промышленности рассматривается во всем мире как одно из ключевых направлений технологического прогресса [1–10]. Перспективным является создание ультрамелкозернистых (УМЗ) или наноструктурированных материалов на основе алюминия с использованием методов интенсивной пластической деформации (ИПД). Одним из наиболее прогрессивных промышленно-применимых методов ИПД для получения УМЗ структуры в тонких металлических листах является процесс асимметричной прокатки с большим (не менее 50%) рассогласованием скоростей валков [11–23].

Известно, что механизм ИПД при асимметрич-

ной тонколистовой прокатке состоит в создании в металле одновременно высоких деформаций сжатия и сдвига за счет противоположно направленных сил контактного трения, действующих на лист одновременно со стороны верхнего и нижнего валков, вращающихся с различными окружными скоростями. Сдвиговые деформации при этом характеризуются тангенсом макроскопического угла наклона слоев металла в вертикальной плоскости.

В работах [17–18] показано, что асимметричная прокатка металлических листов с высокой единичной степенью деформации ($\epsilon \geq 50\%$), высоким коэффициентом контактного трения ($\mu = 0,3–0,4$) и большим рассогласованием скоростей валков ($V_1/V_2 \geq 2$) позволяет создавать в деформируемых металлах сверхвысокие сдвиговые деформации (угол сдвига $\varphi = 45 \dots 85$ град) (рис. 1) и, соответственно, обеспечивать высокий уровень истинной накопленной деформации ($e = 4 \dots 6$). Однако при таких параметрах реализации процесса

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта №15-19-10030.

© Песин А.М., Пустовойтов Д.О., Вафин Р.К., 2015