

КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ВОЛОЧЕНИЯ ПЛАТИНОВЫХ СПЛАВОВ

© 2016 г. О.М. Огородникова, Е.М. Бородин

Уральский федеральный университет (УрФУ) им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

Статья поступила в редакцию 21.06.14 г., доработана 10.08.15 г., подписана в печать 14.08.15 г.

Методом конечных элементов в программной среде DEFORM-2D проведен компьютерный анализ напряженного состояния заготовки и инструмента в осесимметричной постановке на этапе установившегося процесса волочения сплава PtNi эквиатомного состава. Предложена геометрия алмазного инструмента, обеспечивающая снижение жесткости и массы без изменения основных параметров технологического процесса.

Ключевые слова: волочение, геометрия волоки, платиновые сплавы, компьютерное моделирование, DEFORM-2D, напряжения.

Огородникова О.М. – канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры электронного машиностроения УрФУ (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19). Тел.: (343) 375-94-03. E-mail: o.m.ogorodnikova@bk.ru.

Бородин Е.М. – канд. техн. наук, доцент той же кафедры. E-mail: bem-imach@yandex.ru.

Для цитирования: Огородникова О.М., Бородин Е.М. Компьютерный анализ напряженно-деформированного состояния инструмента для волочения платиновых сплавов // Изв. вузов. Цвет. металлургия. 2016. No. 1. С. 15–18.
DOI: dx.doi.org/10.17073/0021-3438-2016-1-15-18.

Ogorodnikova O.M., Borodin E.M.

Stress-strain state computer analysis of the platinum alloy drawing tool

The computer analysis was made to evaluate the stress state of a workpiece and an axisymmetrically positioned tool at the stage of steady drawing process of PtNi equiatomic alloy using finite-element method in the DEFORM-2D software environment. The diamond tool geometry is proposed to reduce hardness and weight without changing basic process parameters.

Key words: drawing, drawing die geometry, platinum alloys, computer simulation, DEFORM-2D, stresses.

Ogorodnikova O.M. – Cand. Sci. (Phys.-Math.), associate prof., Electronics Machine-Building Department, Ural Federal University (620002, Russia, Ekaterinburg, Mira str., 19). E-mail: o.m.ogorodnikova@bk.ru.

Borodin E.M. – Cand. Sci. (Eng.), associate prof., Electronics Machine-Building Department, Ural Federal University. E-mail: bem-imach@yandex.ru.

Citation: Ogorodnikova O.M., Borodin E.M. Komp'yuternyi analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya instrumenta dlya volocheniya platinovykh spлавov. *Izv. vuzov. Tsvet. metallurgiya*. 2016. No. 1. P. 15–18.
DOI: dx.doi.org/10.17073/0021-3438-2016-1-15-18.

Введение

Среди широкого круга перспективных материалов со специальными свойствами особую группу составляют сплавы на основе платины [1], использование которых оправдано в наиболее ответственных узлах точных приборов [2], эксплуатируемых в агрессивных средах [3]. Сплавы платины с благородными компонентами отвечают требованию экономии благородных металлов [4, 5]. Без снижения функциональных свойств в этих сплавах достигается существенное упрочнение в результате эффектов наноструктурирования [6], а именно упорядочения атомов в кристаллической решетке [7].

Возрастающий интерес к бинарным сплавам на основе платины в последнее время обусловлен их уникальными каталитическими свойствами [8]. В частности, из проволоки платиновых сплавов изготавливают тканые и вязаные каталитические сетки [9]. Для получения проволоки диаметром от 10 мкм до 2 мм из платиновых сплавов применяют технологические процессы волочения [10], которые заключаются в протягивании цилиндрической заготовки через конический канал алмазного инструмента. В общем случае при проектировании технологии волочения необходимо контролировать, выбирать и оптимизировать на-

пряжения в проволоке и волоке, пластическую деформацию и упрочнение проволоки, площадь сечения, применение смазочных материалов, скорость процесса, угол конусности волоки [11]. Большую роль играет угол конусности — угол наклона образующей инструмента к оси волочения, поскольку он определяет энергосиловые параметры процесса и должен обеспечивать минимальные значения напряжения волочения [12]. При этом производительность процесса во многом зависит от стойкости инструмента и обуславливается уровнем напряжений в контактной зоне [13].

Цель данной работы — провести вычислительное моделирование установившегося процесса волочения проволоки из упорядочивающегося сплава PtNi эквиатомного состава и оценить напряженное состояние волоки методом конечных элементов.

Материалы и методы исследования

Ресурсосберегающее конечно-элементное моделирование [14] технологических процессов волочения дорогостоящих сплавов представляется перспективным направлением вычислительного материаловедения. В данной работе была использована специализированная программа DEFORM-2D для компьютерного моделирования технологий обработки давлением, средствами которой исследовано волочение сплава Pt₅₀Ni₅₀ в разупорядоченном и рекристаллизованном состоянии при комнатной температуре. Форма и геометрические размеры алмазной волоки заданы в соответствии с ГОСТ 6271-90 для диаметра калибрующего отверстия 0,5 мм. Рассмотрена осесимметричная задача на этапе установившегося процесса, граничные и начальные условия прило-

жены к половине продольного сечения с положительными пространственными координатами.

Результаты и их обсуждение

Закон поведения сплава при пластическом деформировании является входной информацией на компьютерное моделирование технологии волочения и в данной работе сформулирован по результатам обработки экспериментальных кривых деформационного упрочнения, полученных нами ранее для проволоки соответствующего диаметра [15]. Волочение производится в разупорядоченном состоянии после высокотемпературного отжига [16] и моделируется в рамках упругопластической модели поведения материала. Пластический участок нагружения аппроксимирован экспоненциальной зависимостью напряжений (σ) от деформаций (ϵ):

$$\sigma = \sigma_0 + a\epsilon^b = 578,813 + 1607,101\epsilon^{0,588}.$$

Геометрическая модель волоки построена таким образом, что алмазный инструмент, в соответствии с современными конструктивными принципами, внедрен в матрицу [17]. Матрица изготавливается спеканием порошков карбида вольфрама и кобальта, образуя с алмазным инструментом неразъемную сборку. В вычислительной модели на границе алмазного инструмента и матрицы заданы контактные условия, исключающие взаимное перемещение. Ограничение степеней свободы применяется к внешнему цилиндрическому контуру матрицы в виде нулевых значений скорости. Осевая скорость движения заготовки величиной 1 мм/с приложена к внешнему контуру в области захвата.

Расчетные распределения эквивалентного напряжения Мизеса в контактной зоне и первого

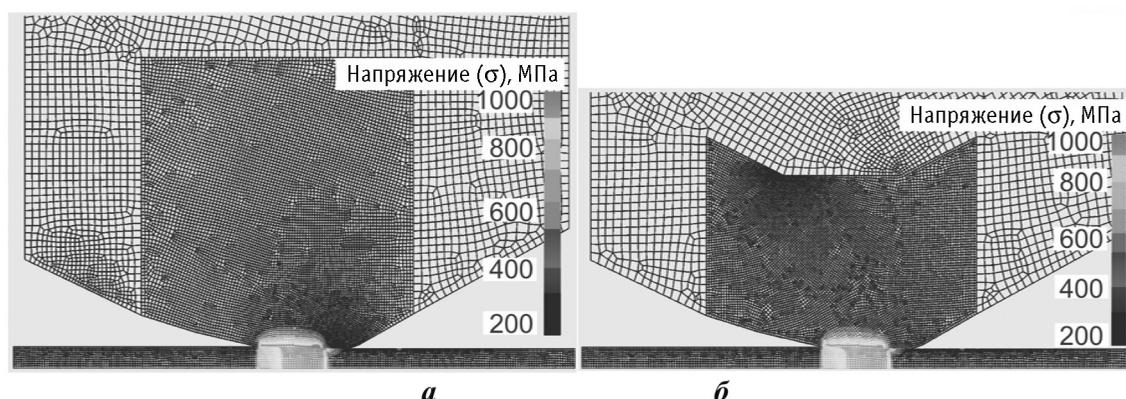


Рис. 1. Распределение эквивалентных напряжений в зоне контакта

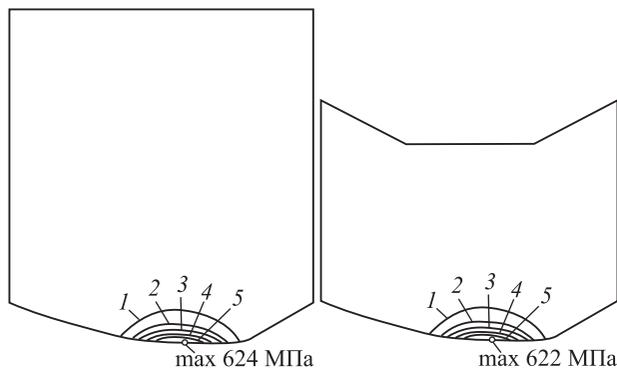


Рис. 2. Распределение первого главного напряжения в волоке
 σ , МПа: 100 (1), 200 (2), 300 (3), 400 (4), 500 (5)

главного напряжения в волоке показаны соответственно на рис. 1, а и 2, а. Выбран предельный случай по уровню напряжений в заготовке. При этом первое главное напряжение в волоке достигает 620 МПа. Большинство исследователей варьруют и оптимизируют рабочий канал волоки, но существенными параметрами также являются внешние габариты инструмента. В частности, можно рассмотреть варианты менее жестких сечений (см. рис. 1, б и 2, б). В наших расчетах показано, что можно снизить жесткость и массу алмазного инструмента при неизменном уровне напряжений в волоке.

Заключение

Методом конечных элементов исследован установленный процесс волочения твердого платинового сплава. Предложена геометрия волоки, понижающая жесткость без изменения основных параметров технологического процесса.

Статья написана по результатам исследований, проводимых в рамках реализации и за счет средств Программы повышения конкурентоспособности 5-100-200.

Литература

1. Ястребов В.А. Дисперсионно-упрочненные материалы на основе платины, их свойства и применение // Цвет. металлы. 2007. No. 2. С. 112—116.
2. Каменецкий Б.И., Гроховская Л.Г., Логинов Ю.Н., Студенок Г.И. Исследование деформационных характеристик и структура сплава ПлН-4,5 при изготовлении полых заготовок методом глубокой вытяжки // Цвет. металлы. 2007. No. 8. С. 51—53.

3. Васильева Е.В., Волкова Р.М., Захарова М.И., Матвеева М.П., Шнырев Г.Д. Платина, ее сплавы и композиционные материалы. М.: Metallurgy, 1980.
4. Огородникова О.М., Литвинов В.С., Саханская И.Н. Упорядочение, рекристаллизация и механические свойства сплавов Pt—Ni—Cu // Физика металлов и металловедение. 1989. Т. 68. No. 5. С. 969—973.
5. Улыбышева Л.П., Тыкочинский Д.С. Рациональное использование платиновых металлов в производстве стеклянного волокна // Цвет. металлы. 2012. No. 5. С. 40—46.
6. Есаулов М.И. Формоустойчивость бинарных сплавов и пути ее повышения // Научные технологии. 2008. No. 2. С. 22—23.
7. Огородникова О.М., Литвинов В.С. Кинетика упорядочения сплавов платина—никель—медь по типу $L1_0$ // Физика металлов и металловедение. 1993. Т. 75. No. 6. С. 113—117.
8. Morris A.R., Skoglund M.D., Holles J.H. Characterization of Ni@Pt and Co@Pt overlayer catalysts using XAS studies // Appl. Catal. A. General. 2015. Vol. 489. P. 98—110.
9. Гуцин Г.М., Черемных В.П., Сивков Г.М. Сетки и каталитические системы из сплавов на основе платины и палладия для азотной промышленности // Драг. металлы. Драг. камни. 2005. No. 8 (140). С. 163—166.
10. Огородникова О.М., Бородин Е.М., Гудин А.А. Компьютерное исследование инструмента для изготовления проволоки // Компьютер. исследования и моделирование. 2014. Т. 6. No. 6. С. 983—989.
11. Гурьянов Г.Н. Влияние интенсивности деформационного упрочнения проволоки на оптимальную форму рабочего канала волоки // Упрочн. технологии и покрытия. 2015. No. 2(122). С. 14—20.
12. Колмогоров Г.Л., Кобелева Е.К., Снигирева М.В., Чернова Т.В. Энергосиловые характеристики при волочении триметаллической заготовки // Изв. вузов. Цвет. металлургия. 2013. No. 5. С. 46—48.
13. Каргин В.Р., Каргин Б.В., Колесникова С.Ю. Распределение контактных напряжений в процессе волочения круглых изделий // Изв. вузов. Цвет. металлургия. 2013. No. 4. С. 25—28.
14. Огородникова О.М. Исследовательская функция программ CAE в сквозных технологиях CAD/CAE/CAM // Вестн. машиностроения. 2012. No. 1. С. 25—31.
15. Огородникова О.М., Литвинов В.С., Саханская И.Н. Текстура, структура и пластичность упорядоченного сплава NiPt // Физика металлов и металловедение. 1990. Т. 70. No. 7. С. 147—151.
16. Огородникова О.М., Литвинов В.С., Куранов А.А., Кар-

нов Ю.Г. Разупорядочение и рекристаллизация сплавов Pt—Ni—Cu // Физика металлов и металловедение. 1988. Т. 65. No. 5. С. 967—969.

17. Сайт производителя алмазных волок «Fort Wayne Wire Die» (FWWD), USA, Indiana. 2014. Режим доступа: <http://www.fwwd.com> (дата обращения 15.09.2015).

References

1. *Yastrebov V.A.* Dispersionno-uprochnennyye materialy na osnove platiny, ih svoystva i primeneniye [Dispersed strengthened platinum-based materials, their properties and application]. *Tsvetnye metally*. 2007. No. 2. P. 112—116.
2. *Kamenetsky B.I., Grokhovskaya L.G., Loginov Yu.N., Studenok G.I.* Issledovanie deformatsionnykh karakteristik i struktura splava Pt—Ni—Cu pri izgotovlenii polykh zagotovok metodom glubokoi vytyazhki [Study of deformation parameters and structure of Pt—Ni—Cu alloy in manufacture of hollow blanks by deep drawing method]. *Tsvetnye metally*. 2007. No. 8. P. 51—53.
3. *Vasilieva E.V., Volkova R.M., Zakharova M.I., Matveeva M.P., Shnyrev G.D.* Platina, ee splavy i kompozitsionnye materialy [Platinum, alloys and composite materials]. Moscow: Metallurgiya, 1980.
4. *Ogorodnikova O.M., Litvinov V.S., Sakhanskaya I.N.* Uporyadochenie, rekristallizatsiya i mekhanicheskie svoystva spлавov Pt—Ni—Cu [Ordering, recrystallization and mechanical properties of Pt—Ni—Cu alloys]. *Fizika metallov i metallovedenie*. 1989. Vol. 68. No. 5. P. 969—973.
5. *Ulybysheva L.P., Tykochinsky D.S.* Ratsional'noe ispol'zovanie platinovykh metallov v proizvodstve steklyannogo volokna [Rational using of platinum metals in the production of the fiberglass]. *Tsvetnye metally*. 2012. No. 5. P. 40—46.
6. *Esaulov M.I.* Formoustoychivost' binarnykh spлавov i puti ee povysheniya [Form stability of the binary alloys and the ways of it's increase]. *Naukoemkie tekhnologii*. 2008. No. 2. P. 22—23.
7. *Ogorodnikova O.M., Litvinov V.S.* Kinetika uporyadocheniya spлавov platina—nikel—med' po tipu $L1_0$ [Kinetics of ordering of platinum—nickel—copper alloys by $L1(0)$ type]. *Fizika metallov i metallovedenie*. 1993. Vol. 75. No. 6. P. 113—117.
8. *Morris A.R., Skoglund M.D., Holles J.H.* Characterization of Ni@Pt and Co@Pt overlayer catalysts using XAS studies. *Appl. Catal. A. General*. 2015. Vol. 489. P. 98—110.
9. *Gushchin G.M., Cheremnyh V.P., Sivkov G.M.* Setki i katalizatornie sistemy dlya azotnoy promyshlennosti [Grids and catalyst systems on a base of platinum and palladium alloys for the nitrogen industry]. *Dragotsennyye metally. Dragotsennyye kamni*. 2005. No. 8 (140). P. 163—166.
10. *Ogorodnikova O.M., Borodin E.M., Gudin A.A.* Komp'yuternoe issledovanie instrumenta dlya izgotovleniya provoloki [A computational study of tool for wire drawing]. *Komp'yuternyye issledovaniya i modelirovaniye*. 2014. Vol. 6. No. 6. P. 983—989.
11. *Guryanov G.N.* Vliyaniye intensivnosti deformatsionnogo uprochneniya provoloki na optimal'nyuyu formu rabocheho kanala voloki [Influence the intensity of work hardening of the wire on the optimal shape of the working channel portages]. *Uprochnyyayuschchie tekhnologii i pokrytiya*. 2015. No. 2(122). P. 14—20.
12. *Kolmogorov G.L., Kobeleva E.K., Snigireva M.V., Chernova T.V.* Energy-power characteristics when drawing a trimetal billet. *Russ. J. Non-Ferr. Met.* 2013. Vol. 54. No. 6. P. 467—469.
13. *Kargin V.R., Kargin B.V., Kolesnikova S.Yu.* Raspredeleeniye kontaktnykh napryazheniy v protsesse volocheniya kruglykh izdeliy [The distribution of the contact stresses in the process of drawing round products]. *Izvestiya vuzov. Tsvetnaya metallurgiya*. 2013. No. 4. P. 25—28.
14. *Ogorodnikova O.M.* Issledovatel'skaya funktsiya programm CAE v skvoznykh tekhnologiyah CAD/CAE/CAM [Scientific research application of CAE software in CAD/CAE/CAM technologies]. *Vestnik mashinostroyeniya*. 2012. No. 1. P. 25—31.
15. *Ogorodnikova O.M., Litvinov V.S., Sakhanskaya I.N.* Tekstura, struktura i plastichnost' uporyadochennogo splava NiPt [Texture, structure and plasticity of ordered NiPt alloy]. *Fizika metallov i metallovedenie*. 1990. Vol. 70. No. 7. P. 147—151.
16. *Ogorodnikova O.M., Litvinov V.S., Kuranov A.A., Karpov Yu.G.* Razuporyadochenie i rekristallizatsiya spлавov Pt—Ni—Cu [Disordering and recrystallization of Pt—Ni—Cu alloys]. *Fizika metallov i metallovedenie*. 1988. Vol. 65. No. 5. P. 967—969.
17. Fort Wayne Wire Die. URL: <http://www.fwwd.com> (accessed: 15.09.2015).