

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ИПД ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Г.И. Рааб^{1*}, В.Г. Шибаков², А.Г. Рааб¹

¹Уфимский государственный авиационный технический университет, К. Маркса, 12, Уфа, 450000, Россия

²Казанский Федеральный Университет, Кремлевская, 35, Казань, 420008, Россия

*e-mail: giraab@mail.ru

Аннотация. В работе приведены результаты исследований и анализа перспективных схем интенсивной пластической деформации, реализующих условия немонотонного воздействия при волочении и прокатке длинномерных объемных металлических материалов. Показаны эффективность схем с точки зрения формированияnanoструктурных состояний и перспективность дальнейших исследований для возможных промышленных внедрений.

1. Введение

Методы интенсивной пластической деформации (ИПД), в отличие от традиционных методов обработки металлов давлением (ОМД), направленных преимущественно на формообразование, используют с целью глубокого изменения структуры, фазового состава и физико-механических свойств. В результате интенсивного пластического воздействия в металлических материалах на порядки возрастает протяженность границ зерен и субзерен, заметно изменяется статическая и динамическая дилатация атомов кристаллической решетки. Благодаря этому, во много раз повышаются прочностные характеристики металлов при сохранении достаточно высоких пластических свойств, выгодно изменяется также ряд физических свойств, в том числе таких, которые ранее считались нечувствительными к деформациям [1, 2]. Характерным для процессов ИПД металлических материалов является накопление больших деформаций ($e = 4-12$) при температурах ниже температуры рекристаллизации, приводящих к качественным и количественным изменениям структуры и свойств. Обязательным условием при этом служит сохранение физической целостности деформируемых заготовок. Наиболее эффективно для формирования nanoструктур (НС) немонотонное воздействие [1, 3]. Из известных способов получения НС материалов довольно широкое распространение получили: равноканальное угловое прессование (РКУП), многослойная прокатка ARB [9], совмещенная со сваркой в твердой фазе, всесторонняя ковка, «twist» процесс [6, 7]. Однако эти способы имеют ряд недостатков при производстве наиболее востребованного сортамента полуфабрикатов в виде длинномерных прутков и листов. Основным недостатком является повышенная трудоемкость, связанная с необходимостью проведения дополнительного передела дискретных исходных НС заготовок в длинномерные полуфабрикаты или, для случая многослойной прокатки [9], необходимость специальной подготовки поверхности. В данной работе представлено два новых метода ИПД, позволяющих исключить выше представленные недостатки при

производстве длинномерных прутков и листового проката. Работа построена на анализе деформированного состояния и характера течения материала, используя компьютерное моделирование. Основная цель исследований – выявление прикладного потенциала предлагаемых методов ИПД.

2. Новые методы ИПД

Исследовали два новых метода ИПД для получения длинномерных НС прутковых и листовых полуфабрикатов. Схемы методов представлены на Рис. 1а,б.

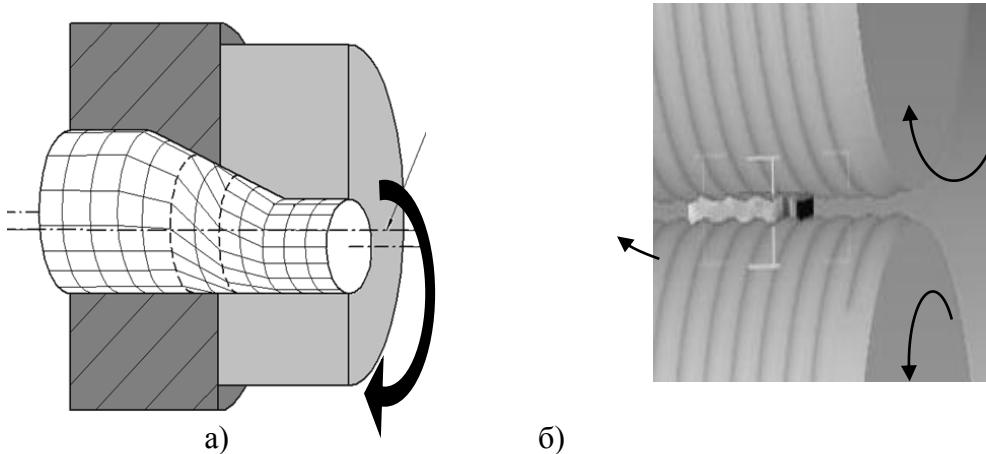


Рис. 1. Схемы методов ИПД: а) сдвиговое волочение; б) сдвиговая прокатка.

Первый метод – *сдвиговое волочение* (Рис. 1а). В основе метода получения длинномерных прутков лежит схема волочения через две волоки с возможностью эксцентричного относительного кругового движения одной из них с заданной амплитудой и угловой скоростью. Такое движение позволяет осуществлять сдвиговую деформацию в поперечном сечении заготовки с постоянно изменяющимся вектором приложения нагрузки в процессе волочения и, тем самым, создавать условия немонотонного деформирования, приводящего к более быстрому формированию НС и повышению накопленного уровня деформации за один цикл обработки.

Второй метод – *сдвиговая прокатка* (Рис. 1б). В основе метода получения листовых НС полуфабрикатов лежит схема прокатки в волках со специальным профилем. Данный профиль в зависимости от его исполнения позволяет управлять интенсивностью деформационной обработки, создавая при этом условия немонотонного воздействия в процессе прокатки за счет сдвиговой деформации поперечного сечения обрабатываемой листовой заготовки.

3. Методологические подходы проведенных исследований

Компьютерное моделирование проводили с использованием программного пакета DEFORM-3D, специализированного для решения задач ОМД. Материалом исследования служили сталь 10 и алюминиевый сплав марки 1100. Температура обработки – комнатная. При волочении площадь поперечного сечения исходной заготовки уменьшалась на 22,5 %. Для сдвиговой прокатки расчетную степень разового обжатия брали равную 50 %, исходя из средней линии профиля валков.

4. Исследование схемы сдвигового волочения и анализ результатов

Учитывая многофакторность параметров процесса волочения (угол волоки, температура, используемая смазка, скорость обработки, марка инструментальной стали и т.д.) при моделировании были зафиксированы следующие параметры. Односторонний угол

волоки 5°; коэффициент трения 0,08; скорость волочения 0,1 м/с; диаметр исходной заготовки 10 мм. Угловая скорость вращения подвижной волоки составляла 10 радиан. Схематично геометрию волок можно оценить, используя Рис. 1а. Исследовали и сравнивали один цикл обработки после обычного волочения с классической геометрией волоки и геометрией для волочения со сдвигом. Сдвиг проводили за счет ротационного вращения одной части сборной волоки с эксцентризитетом 0,6 мм, относительно оси ее неподвижной части. Результаты моделирования отражены на Рис. 2–4. Анализ полученных данных показывает, что использование схемы сдвигового волочения (Рис. 2) приводит к значительному, в 3-5 раз, повышению уровня накопленной деформации во всем объеме заготовки за один цикл обработки по сравнению со статическими вариантами волок (Рис. 3, Рис. 4).

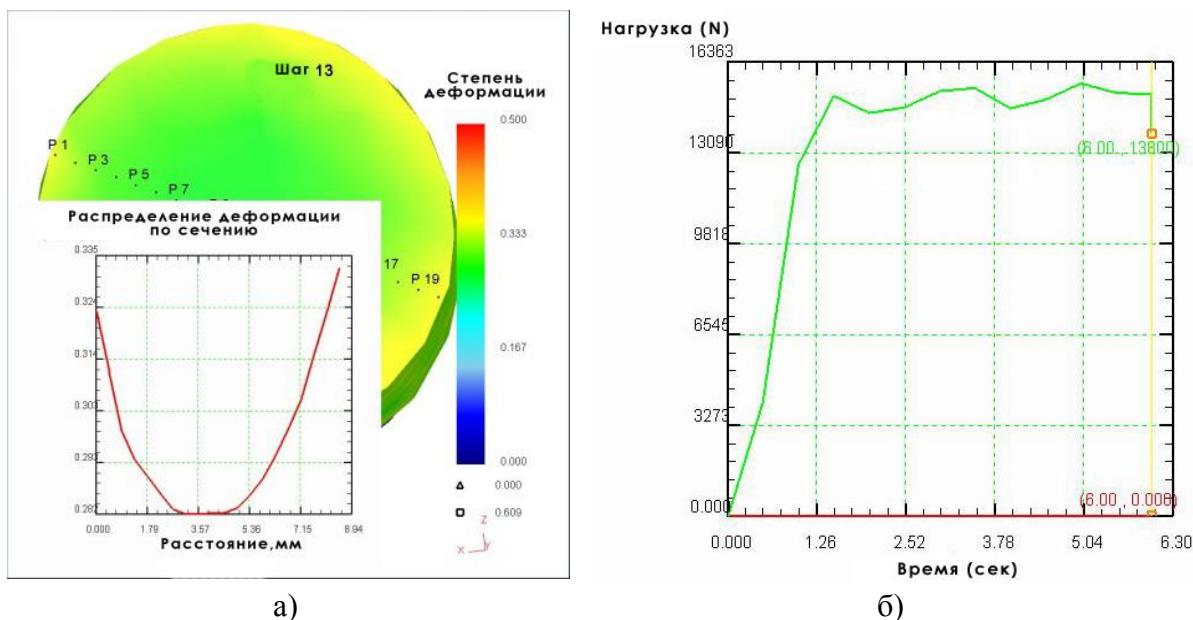


Рис. 2. Картина и характер распределения деформаций для процесса сдвигового волочения технического титана при 20 °C – (а) и силовые параметры процесса – (б).

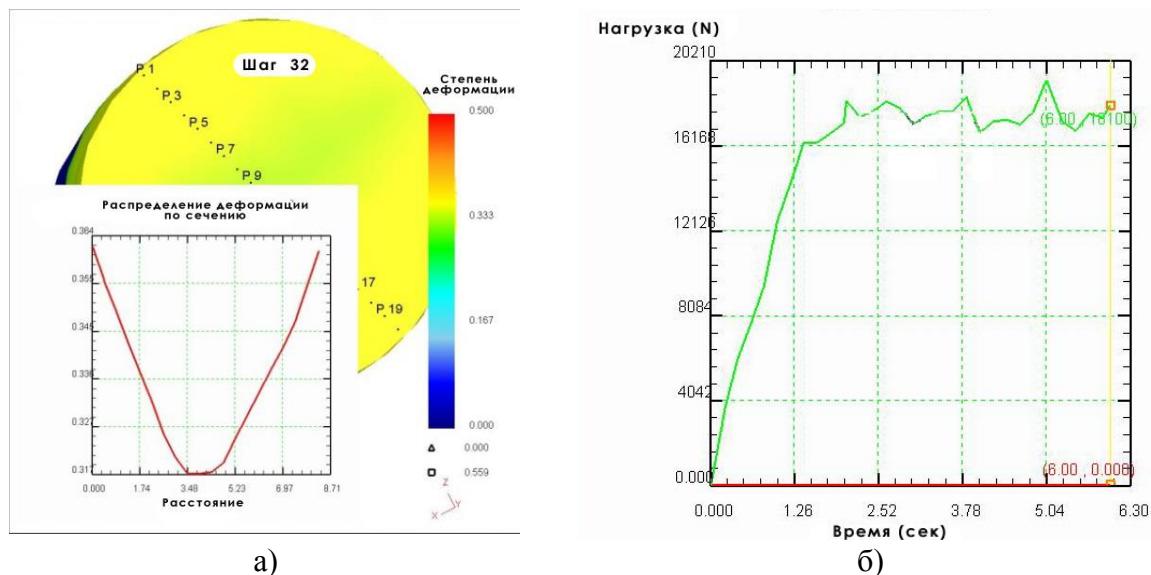


Рис. 3. Картина и характер распределения деформации для классической геометрии волоки при волочении технического титана при 20 °C – (а) и силовые параметры процесса – (б).

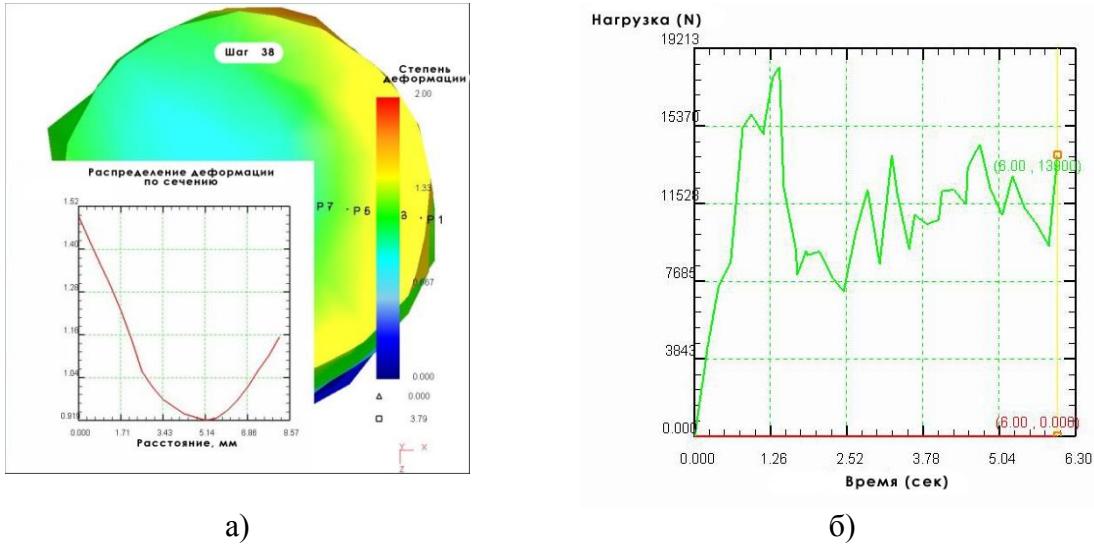


Рис. 4. Картина и характер распределения деформации для предлагаемой геометрии волоки без вращения при волочении технического титана при 20 °C – (а) и силовые параметры процесса – (б).

При этом накопленный уровень деформации за один цикл обработки, например, в поперечном сечении заготовки, составляет от $e = 0,9$ до $e = 1,5$ (Рис. 2). За четыре цикла обработки уровень накопленной деформации возможно довести до $e = 4-6$, что вполне соответствует интенсивности, получаемой при РКУП за то же число циклов. Для предельного фрагментирования структуры, как правило, достаточно уровня накопленной деформации порядка $e = 4$ [1]. Известно, что при таких уровнях накопленной деформации при РКУП, возможно формирование зеренной структуры [5]. Вызывает интерес факт довольно низких сил волочения при сдвиговой прокатке в сочетании с высоким уровнем деформации.

В качестве резюме следует констатировать, что сдвиговое волочение позволяет обеспечить как высокий уровень деформации, так и ее немонотонный характер, что должно положительно повлиять на формирование НС состояний деформируемых заготовок.

5. Исследование схемы сдвиговой прокатки и анализ результатов

Известно, что прокатка является одним из распространенных процессов ОМД и ее преимущества, особенно при производстве массового листового проката, неоспоримы. В то же время создание НС зеренного типа в листовых заготовках, представляет определенные трудности. Наиболее прогрессивный процесс в этом направлении [9] объединяет в себе большие деформации и процесс твердофазного соединения, что создает определенные сложности технологического характера. Предлагаемая новая схема деформации, предполагает прокатку объемной цельной заготовки, обеспечивая при этом ее формирование НС состояния с минимальными затратами. Используемая обработка предполагает последовательное воздействие профильными и гладкими волками. В данной работе профильные валки имели винтовой профиль с шагом 10 мм при высоте сечения исходной заготовки из алюминиевого сплава марки 1100. Последовательная прокатка данного материала при комнатной температуре с обжатием 50 % на профильных и гладких бойках представлена на Рис. 5.

Показано, что за два цикла обработки накапливается средний уровень, преимущественно немонотонной деформации, порядка $e = 2$. Данный факт, исходя из известных научных результатов, должен положительно сказаться на эффективном формировании зеренной структуры при прокатке листовых заготовок.

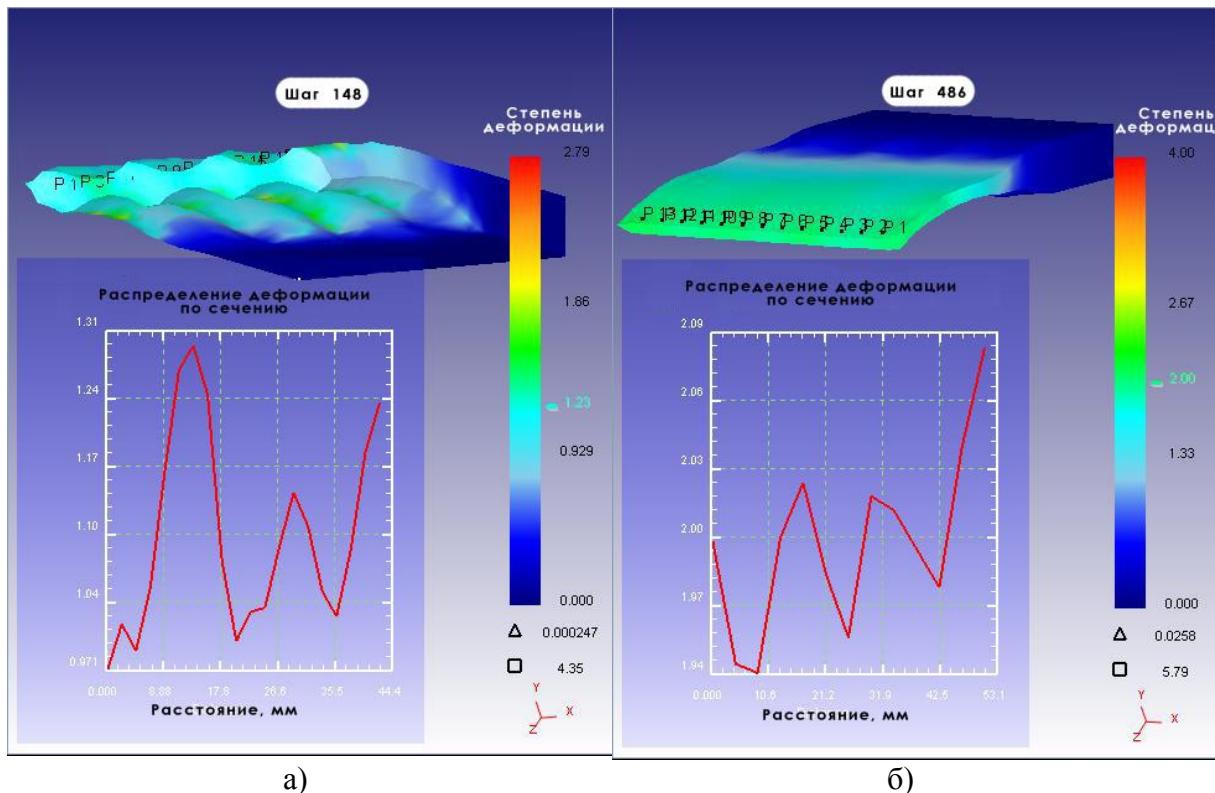


Рис. 5. Общий вид заготовки и характер распределения деформации после прокатки профильными валками (а) и последующей ее прокатки гладкими волками (б). Средняя накопленная суммарная деформация за два цикла обработки составляет $e = 2 \pm 0,1$.

6. Заключение

Виртуальный анализ деформированного состояния и характера пластического течения металлических материалов при использовании новых методов ИПД показал возможность эффективного накопления высоких уровней деформации немонотонного характера. Достигнутые величины накопленной деформации более $e=4$ в условиях редукционной обработки обеспечивают формирование НС состояний при изготовлении длинномерных металлических полуфабрикатов.

Компьютерное моделирование было выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 14-19-01062), выделенного ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет».
Шибаков В.Г. выражает благодарность финансированию из средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

Литература

- [1] R.Z. Valiev, T.G. Langdon // *Progress in Materials Science* **51** (2006) 881.
- [2] C.C. Koch // *Scripta Materialia* **49** (2003) 657.
- [3] R.Z. Valiev, I.V. Alexandrov, Y.T. Zhu, T.C. Lowe // *Journal of Materials Research* **17** (2002) 5.
- [4] T.G. Langdon, M. Furukawa, M. Nemoto, Z. Horita // *JOM* **52(4)** (2000) 30.
- [5] Y. Saito, N. Tsuji, H. Utsunomiya, T. Sakai, R.G. Hong // *Scripta Materialia* **39** (1998) 1221.

- [6] G.A. Salishchev, O.R. Valiahmetov, R.M. Galeev // *Journal of Materials Science* **28** (1993) 2898.
- [7] V.N. Varyukhin, Y.Y. Beygelzimer, S. Synkov, D. Orlov // *Materials Science Forum* **503-504** (2006) 335.
- [8] F.Z. Utyashev, G.I. Raab // *Reviews on Advanced Materials Science* **11** (2006) 137.
- [9] G. Krallics, J.G. Lenard // *Journal of Materials Processing Technology* **152**(2) (2004) 154.

PROMISING METHODS OF SPD TO OBTAIN NANOSTRUCTURED METALLIC MATERIALS

G.I. Raab^{1*}, V.G. Shibakov², A.G. Raab¹

¹Ufa State Aviation Technical University, K. Marx str., 12, Ufa, 450000, Russia

²Kazan Federal University, Kremlevskay, 35, Kazan, 420008, Russia

*e-mail: giraab@mail.ru

Abstract. The manuscript provides the results of investigations and the analysis of advanced schemes of severe plastic deformation (SPD) creating conditions of non-monotonic exposure at drawing and rolling of long-length metallic materials. The manuscript shows the efficiency of schemes in terms of nanostructured states processing and the advance of further studies for possible commercial implementation.

Acknowledgements

Computer modeling was carried out with the financial support of the grant of the Russian Science Foundation (project № 14-19-01062) for VPO "Ufa State Aviation Technical University."

V.G. Shibakov is grateful to funding from grants given under the state support of Kazan (Volga) Federal University in order to improve its competitiveness among the world's leading research and education centers.

References

- [1] R.Z. Valiev, T.G. Langdon // *Progress in Materials Science* **51** (2006) 881.
- [2] C.C. Koch // *Scripta Materialia* **49** (2003) 657.
- [3] R.Z. Valiev, I.V. Alexandrov, Y.T. Zhu, T.C. Lowe // *Journal of Materials Research* **17** (2002) 5.
- [4] T.G. Langdon, M. Furukawa, M. Nemoto, Z. Horita // *JOM* **52**(4) (2000) 30.
- [5] Y. Saito, N. Tsuji, H. Utsunomiya, T. Sakai, R.G. Hong // *Scripta Materialia* **39** (1998) 1221.
- [6] G.A. Salishchev, O.R. Valiahmetov, R.M. Galeev // *Journal of Materials Science* **28** (1993) 2898.
- [7] V.N. Varyukhin, Y.Y. Beygelzimer, S. Synkov, D. Orlov // *Materials Science Forum* **503-504** (2006) 335.
- [8] F.Z. Utyashev, G.I. Raab // *Reviews on Advanced Materials Science* **11** (2006) 137.
- [9] G. Krallics, J.G. Lenard // *Journal of Materials Processing Technology* **152**(2) (2004) 154.