

РАЗДЕЛ II ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК.621.777.014

Ашкеев Ж. А.
Андреященко В. А.
Абдираманов С. Т.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАКРЫТОЙ ШТАМПОВКИ, РЕАЛИЗУЮЩЕЙ ИНТЕНСИВНЫЕ ПЛАСТИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ

На данном этапе развития науки и техники весьма актуальной стала проблема разработки ресурсосберегающих способов получения материалов со свойствами, сочетающими одновременно высокую прочность и пластичность, в условиях использования относительно простых и недорогих устройств, позволяющих затрачивать минимально возможное количество времени при обработке изделий.

Металлы и сплавы с ультрамелкозернистой микроструктурой, полученной интенсивной пластической деформацией (ИПД), демонстрируют значительно более высокие прочностные характеристики, чем крупнозернистые сплавы. Получить дополнительное упрочнение сплава возможно при комбинации разных видов нагружения, т. е. при смене напряженно-деформированного состояния. Вид нагружения оказывает влияние на кинетику микроструктурной эволюции и на однородность получаемой микроструктуры. Этот эффект используется и в методах ИПД, в частности при немономонном нагружении. Примером немономонного нагружения является всесторонняя ковка, при реализации которой смена схемы главных напряжений реализуется в результате поворота заготовки последовательно относительно трех осей [1]. В настоящее время материалы с субультрамелкозернистой структурой (в том числе аустенитные и мартенситные стали, легкие и цветные материалы и композиты) получают преимущественно методами холодного пластического деформирования [2–4]. Авторы работы [5] показывают возможность создания ультрамелкозернистых материалов также в процессах горячей пластической деформации. Кроме того, для создания непрерывных методов интенсивной пластической деформации, приводящих к формированию ультрамелкозернистой структуры в металлах и сплавах, прибегают к созданию комбинированных или совмещенных процессов. Авторы работы [6] указывают, что комбинированием процессов равноканального углового прессования и прокатки, а также их вариаций, можно получать либо полосовую сталь, либо заготовку квадратного сечения. В работе [7] показано, что получение длинномерного проката (проката) с изотропным мелкодисперсным, вплоть до субмикроструктурного и наноструктурного, внешнего слоя возможно методом радиально-сдвиговой прокатки. Однако при этом внутренний слой сохраняется волокнистым. С технико-экономической точки зрения получение прутков прокатной является наиболее простым, однако при рассмотрении общей структуры себестоимости стержневого проката, основные затраты в себестоимости составляет цена заготовки (91,6 %), т. е. удельные затраты на сырье [8]. В связи с чем более целесообразно производство прутков альтернативными методами. Известно, например, применение радиально-ковочных машин для производства сплошных и полых сортовых профилей постоянного и переменного по длине сечения из специальных сталей путем горячей и холодной пластической деформации [9].

В данной работе предлагается один из вариантов реализации ИПД за счет попеременного внедрения центрального пуансона в заготовку, расположенную в закрытой матрице и последующего обжатия боковым кольцевым пуансоном со скошенной рабочей поверхностью.

Для исследования ИПД в закрытой матрице предварительно были проведены лабораторные эксперименты с использованием многослойных пластилиновых образцов. Для этого оснастка была изготовлена из дерева (березы): контейнер, центральный цилиндрический пуансон, кольцевой пуансон со скошенной рабочей поверхностью (рис. 1). Исходная многослойная пластилиновая заготовка цилиндрической формы устанавливалась на нижний кольцевой пуансон 2, деформировалась кольцевыми пуансонами до затекания в кольцевую полость с образованием отростков. Затем центральным цилиндрическим пуансоном 3 заготовка деформировалась в обратном направлении. Следует отметить, что при сжатии боковыми пуансонами центральные пуансоны отодвигались, а затем внедрялись в центральную зону заготовки, осуществляя тем самым знакопеременную деформацию. Заготовка после внедрения центрального пуансона показана на рис. 2.

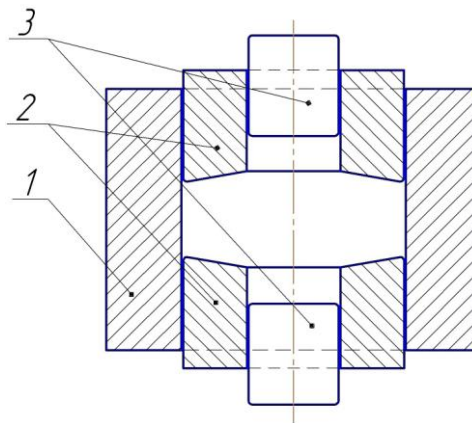


Рис. 1. Закрытая матрица:

1 – контейнер; 2 – кольцевой пуансон; 3 – центральный цилиндрический пуансон

Анализ результатов экспериментов при обработке многослойных пластилиновых образцов показывает, что интенсивные сдвиговые деформации наблюдаются в центральных и боковых областях (рис. 2), интенсивность которых можно оценить по формуле: $\Gamma = t g \gamma$. При этом центральные слои подвергаются всестороннему сжатию: за счет действия центрального пуансона и противодействия со стороны боковых зон заготовки. Сжатие боковыми пуансонами, а затем центральными обозначим одним полным циклом. Повторяя циклы деформирования, можно реализовать в объеме тела ИПД, которые положительно влияют на измельчение структурных составляющих и закрытие внутренних дефектов.



Рис. 2. Заготовка после сжатия центральными пуансонами

Дополнительно для анализа процесса штамповки в закрытой матрице, реализующей ИПД, использовано компьютерное моделирование в программном комплексе Deform 3D.

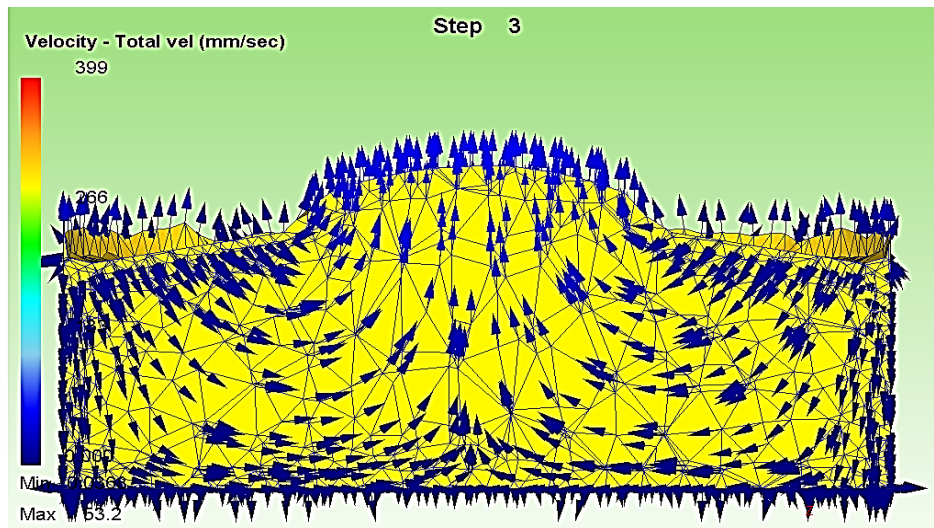


Рис. 3. Изменение скорости течения слоев заготовки при сжатии кольцевыми пуансонами

На рис. 3 показаны векторы скорости при деформировании металла кольцевым пуансоном и переход металла в кольцевую область центрального пуансона. На рис. 3 можно заметить зону застоя 1, где течение металла тормозится из-за сил контактного трения, возникающих между стенкой матрицы и заготовкой. Следует отметить, что ИПД подвергались алюминиевые заготовки в холодном состоянии, т. е. при комнатной температуре.

Анализ результатов компьютерного моделирования показал, что при сжатии боковыми пуансонами ИПД сосредотачиваются в центральной зоне заготовки. При внедрении центрального пуансона степень деформации выравнивается и увеличивается с увеличением количества циклов деформирования, т. е. накапливается в объеме тела.

Помимо использования программного комплекса Deform 3D для исследования данного метода использован классический, теоретический метод линий скольжения. Удельное усилие P_y деформирования заготовки со стороны центрального пуансона, рассчитанное методом линий скольжения, составило 141 МПа, а при компьютерном моделировании это значение составило 143 МПа, наблюдается достаточно высокая сходимость, что еще раз подтверждает правильность, достоверность полученных значений (рис. 4).

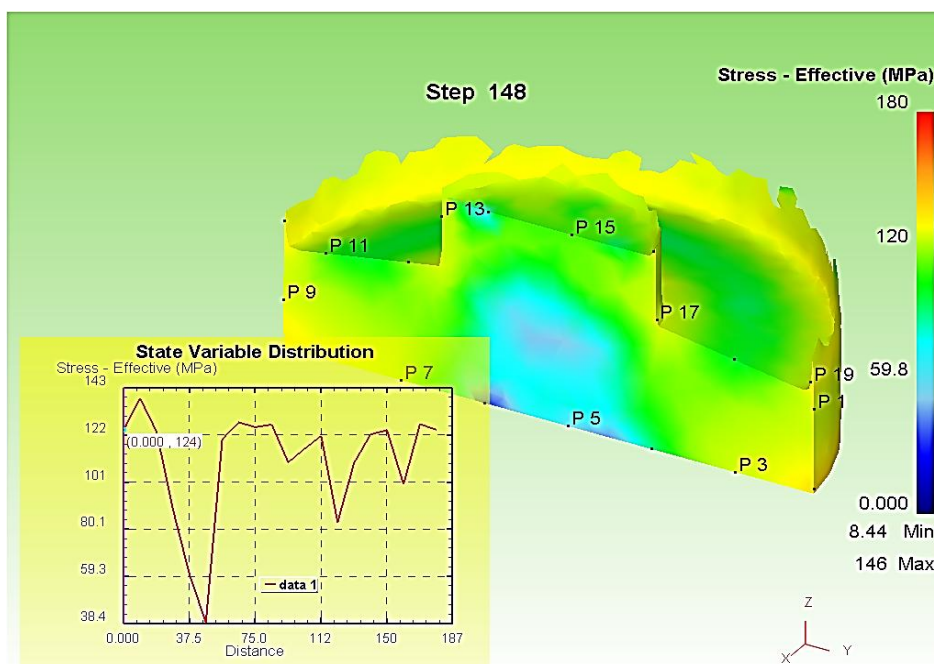


Рис. 4. Изменение давления при сжатии кольцевым пуансоном

После деформирования многослойных пластилиновых образцов и проведения компьютерного моделирования были продеформированы алюминиевые заготовки на гидравлическом прессе, опытный образец показан на рис. 5. На рисунке видно совпадение формы заготовки, полученной при моделировании и при реальном физическом эксперименте. После проведения испытаний из образцов были вырезаны темплеты для анализа показателей твердости (табл. 1).

Анализ экспериментальных данных показал, что с увеличением циклов деформирования увеличивается твердость металла HV по Виккерсу по сравнению с исходным состоянием. После реализации 3 циклов деформирования твердость повысилась в 1,8 раза.

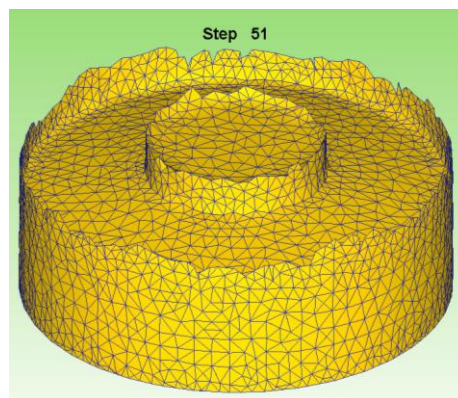
Таблица 1

Результаты расчета на прочность по Виккерсу

Заготовка	HV
	30
Начальный	32,1
1,5 цикл	50,3
2,5 цикл	52,7
3 цикл	56,8



а



б

Рис. 6. Результаты исследования:

а – образец из алюминия; б – образец после моделирования

ВЫВОДЫ

Проведено исследование процесса реализации интенсивной пластической деформации в закрытой матрице с помощью компьютерного и физического моделирования, а также проведения лабораторных экспериментов. Анализ результатов исследования показал хорошую сходимость результатов. Реализация интенсивной пластической деформации способствовала повышению твердости по Виккерсу после реализации 3 циклов деформирования в 1,8 раза.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Повышение прочности аустенитной стали комбинированным нагружением / Караева М. В., Абрамова М. М., Еникеев Н. А., Рааб Г. И., Валиев Р. З. // *Письма о материалах*. – 2017. – № 7 (1). – С. 29–33.
2. Структура и свойства ультрамелкозернистой мартенситной стали / Исламгалиев Р. К., Ганев А. В., Никитина М. А., Караева М. В. // *Вестник УКАТУ*. – 2016. – № 3 (20). – С. 19–24.
3. Применение метода деформационного наноструктурирования в технологических процессах производства проволоки / М. В. Чукин [и др.] // *Технология машиностроения*. – 2013. – № 4. – С. 5–9.
4. Improvement of mechanical and electrical properties of rotary swaged Al-Cu clad composites / R. Kocich, L. Kunčická, A. Macháčková, M. Šofer // *Materials & Design*. – V.123. – P. 137–146.

5. Формирование ультрамелкозернистой структуры углеродистой стали в процессах горячей пластической деформации / Никитенко О. А., Ефимова Ю. Ю., Жеребцов М. С., Копцева Н. В., Барышников М. П., Селиванова Е. С. // *Вестник ПНИПУ.* – 2015. – № 1 (17). – С. 31–41.
6. Полякова М. А. Использование комбинирования различных видов пластической деформации для получения ультрамелкозернистой структуры в углеродистой проволоке / М. А. Полякова, А. Е. Гулин // *Известия ТулГУ. Технические науки.* – 2014. – Вып. 10, Ч. 2. – С. 143–150.
7. Галкин С. П. Технология и мини-станы радиально-сдвиговой прокатки — оптимальная техника для создания бережливого производства / С. П. Галкин // *Сталь.* – 2014. – № 1. – С. 39–42.
8. Бешта А. С. Система рациональных технико-экономических показателей при производстве мелко-сортного мерного проката в стержнях / А. С. Бешта, О. А. Бойко, Т. В. Куваева // *Электротехнические комплексы и системы автоматизации.* – 2014. – С. 183–188.
9. Закарлюкин С. И. Технологический комплекс производства сплошных и полых поковок постоянного и переменного по длине сечения из специальных металлов и сплавов / С. И. Закарлюкин, Е. А. Закарлюкина, Г. И. Коваль // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия : Metallургия.* – 2014. – Т 14, № 1. – С. 73–79.

REFERENCES

1. Povyshenie prochnosti austenitnoj stali kombinirovannym nagruzheniem / Karavaeva M. V., Abramova M. M., Enikeev N. A., Raab G. I., Valiev R. Z. // *Pis'ma o materialah.* – 2017. – № 7 (1). – S. 29–33.
2. Struktura i svojstva ul'tramelkozernistoj martensitnoj stali / Islamgaliev R. K., Ganeev A. V., Nikitina M. A., Karaeva M. V. // *Vestnik UKATU.* – 2016. – № 3 (20). – S. 19–24.
3. Primenenie metoda deformacionnogo nanostrukturirovanija v tehnologicheskix processa proizvodstva provoloki / M. V. Chukin [i dr.] // *Tehnologija mashinostroenija.* – 2013. – № 4. – S. 5–9.
4. Improvement of mechanical and electrical properties of rotary swaged Al-Cu clad composites / R. Kocich, L. Kunčická, A. Macháčková, M. Šofer // *Materials & Design.* – V.123. – P. 137–146.
5. Formirovanie ul'tramelkozernistoj struktury uglerodistoj stali v processah gorjachej plasticheskoj deformacii / Nikitenko O. A., Efimova Ju. Ju., Zherebcov M. S., Kopceva N. V., Baryshnikov M. P., Selivanova E. S. // *Vestnik PNIPIU.* – 2015. – № 1 (17). – S. 31–41.
6. Poljakova M. A. Ispol'zovanie kombinirovanija razlichnyh vidov plasticheskoj deformacii dlja poluchenija ul'tramelkozernistoj struktury v uglerodistoj provoloke / M. A. Poljakova, A. E. Gulin // *Izvestijay TulGU. Tehnicheskie nauki.* – 2014. – Вып. 10, Ч. 2. – S. 143–150.
7. Galkin S. P. Tehnologija i mini-stany radial'no-sdvigovoj prokatki — optimal'naja tehnika dlja sozdaniya berezhlivogo proizvodstva / S. P. Galkin // *Stal'.* – 2014. – № 1. – S. 39–42.
8. Beshta A. S. Sistema racional'nyh tehniko-jekonomicheskix pokazatelej pri proizvodstve melkosortnogo mernogo prokata v sterzhnjah / A. S. Beshta, O. A. Bojko, T. V. Kuvaeva // *Jelektrotehnicheskie kompleksy i sistemy avtomatizacii.* – 2014. – S. 183–188.
9. Zakarljukin S. I. Tehnologicheskij kompleks proizvodstva sploshnyh i polyh pokovok postojannogo i peremennogo po dljne sechenija iz special'nyh metallov i splavov / S. I. Zakarljukin, E. A. Zakarljukina, G. I. Koval' // *Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija : Metallurgija.* – 2014. – Т 14, № 1. – S. 73–79.

Ашкеев Ж. А. – канд. техн. наук, доц. КГИУ;

Андреященко В. А. – PhD, доц., и. о. зав. каф. КГИУ;

Абдираманов С. Т. – магистр КГИУ.

КГИУ – Карагандинский государственный индустриальный университет, г. Темиртау, Казахстан.

E-mail: jashkeev@mail.ru; vi-ta.z@mail.ru; vip.saiko@bk.ru