

Экспериментальное изучение твердости материала в процессе реверсивной закрытой прошивки

Для количественной оценки качества материала заготовки, подвергнутой равноканальной многоцикловой деформации реверсивной закрытой прошивкой, в качестве критерия оценки гомогенности его механических свойств выбраны твердость по Виккерсу HV , ее дисперсия D и коэффициент вариации V , которые дают возможность выбора оптимальных режимов обработки давлением материала заготовки.

Ключевые слова: твердость по Виккерсу, дисперсия твердости, коэффициент вариации, многоцикловая деформация, реверсивная закрытая прошивка

Одним из весомых показателей изменения механических свойств материала заготовок при пластической обработке является изменение его твердости. Метод испытания твердости находит все более широкое применение для определения степени деформации и интенсивности напряженного состояния в пластической области деформируемого тела через зависимость между твердостью, интенсивностью напряжений и деформаций [1, 2]. Однако при исследовании процессов разрушения материалов вследствие накопления повреждений сама характеристика твердости является слабо чувствительной к изменениям поврежденности материала. Наиболее представительными в отношении оценки состояния материала следует считать не абсолютные значения твердости, а характеристики рассеяния абсолютных значений результатов измерений, выполненных в идентичных условиях [3].

Для получения характеристик рассеяния результатов изменения твердости при накоплении пластических деформаций важно определить, как статистически распределено это свойство. В механике материалов чаще всего используют два распределения: Вейбулла [4] и нормальное [5]. По-видимому, каждое из них наиболее адекватно описывает определенную группу материалов в определенной стадии процесса поврежденности. Для анализа технологии закрытой прошивки авторами принято нормальное распределение (что подтверждено проверкой принадлежности экспериментальных выборок к соответствующей генеральной совокупности с помощью непараметрического критерия χ^2). А для оценки гомогенности твердости в отдельных зонах и ее характеристики по объему заготовки – среднее квадратичное отклонение S , дисперсия $D = S^2$ и коэффициент вариации $V = S/HV$, где HV – средняя твердость в отдельных зонах или по объему заготовки [5].

Цель данной работы – изучение закономерностей изменения твердости по Виккерсу и ее рассеяния при различных степенях разовой и накопленной немонотонной деформации в условиях реверсивной закрытой прошивки (РЗП) заготовок из меди М1 и вторичного алюминия.

Среднюю величину накопленной деформации за цикл закрытой прошивки $e_{ц.п}$ рассчитывали по соотношению У. Джонсона [6]

$$e_{ц.п} = 0,8 + 1,5 \ln[d_2^2 / (d_2^2 - d_1^2)],$$

где d_1, d_2 – наружные диаметры внутреннего пуансона и заготовки соответственно ($d_1 = 21$ мм, $d_2 = 30$ мм, $e_{ц} = 1,8$). Накопленная деформация за цикл реверсирования (возвращение заготовки к исходной цилиндрической форме) $e_{ц.р} = 1,8$. Суммарная деформация за один цикл обработки $e_1 = 3,6$.

Экспериментальное изучение изменения твердости материала в процессе РЗП проведено в две стадии. В ходе первой – производили измерения твердости исследуемых образцов в исходном состоянии (медь М1, отжиг 600 °С, 1 ч, HV 480 МПа, $D = 900$), а также после каждой прошивки и реверсирования цилиндрической формы заготовки (прибор модель ТП-7Р-1). В процессе второй стадии изучали кинетику рассеяния твердости после циклов деформирования.

Результаты измерений твердости в двух диаметральных направлениях на обоих торцах медной заготовки после каждого цикла обработки приведены на рис. 1. После первого цикла обработки (рис. 1, $e_1 = 3,6$) наблюдается отставание упрочнения ($\approx 15\%$) в осевой зоне у нижнего торца заготовки (HV 857) по сравнению с этой же зоной у верхнего торца (HV 997), а также опережающее упрочнение периферийных слоев нижнего торца заготовки (HV 1060), прилегающих к зоне наружной поверхности внутреннего пуансона ($d_1 = 21$ мм, HV_{max} 1200 МПа). Упрочнения периферийных зон верхнего и нижнего торцов заготовки мало (на 3-5 %) отличаются друг от друга. Средняя твердость периферийных зон по заготовке в целом HV 1037 при дисперсии $D = 979$, что указывает на малую поврежденность материала, соизмеримую с поврежденностью исходной заготовки. С другой стороны, средняя твердость приосевой зоны HV 918 при $D = 6429$ свидетельствует о накоплении повреждений и сильном рассеянии твердости.

Перед вторым циклом обработки ($e_2 = 3,6$; $e_{1-2} = 7,2$) заготовку размещали в штампе после

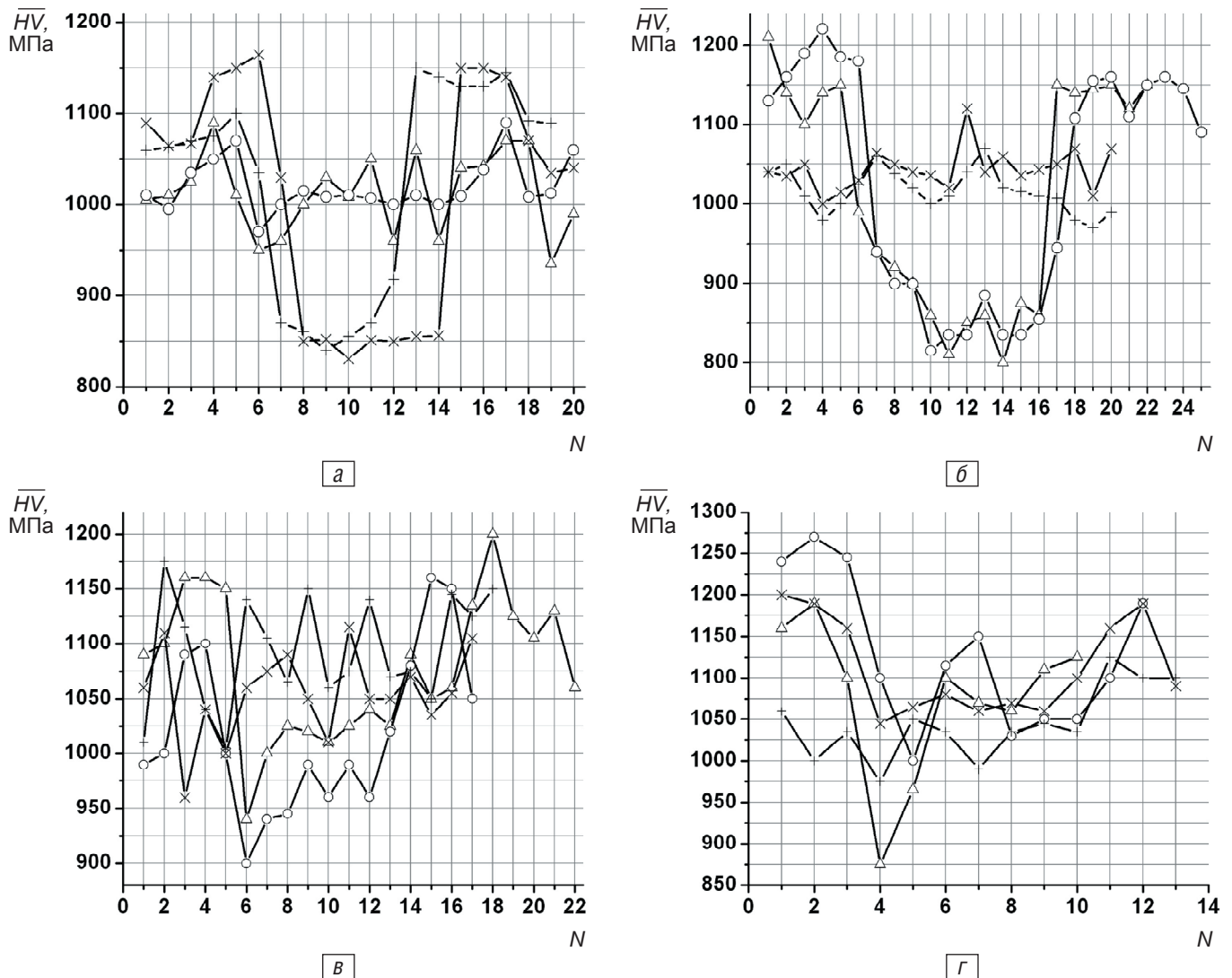


Рис. 1. Значения твердости \overline{HV} вдоль диаметральных направлений торцов заготовки по циклам обработки РЗП: I цикл – $e_1 = 3,6$ (а); II цикл – $e_2 = 3,6$; $e_{2,2} = 7,2$ (б); III цикл – $e_3 = 3,6$; $e_{1,3} = 10,8$ (в); IV цикл – $e_4 = 3,6$; $e_{1,4} = 14,4$ (г); x, + – значения твердости, измеренные на нижнем торце образца в направлениях 1 и 2 соответственно; Δ , \circ – значения твердости на верхнем торце, измеренные в направлениях 1 и 2 соответственно.
Примечание: названия нижний и верхний можно условно оставить без изменений, несмотря на кантовку (переворот на 180°) заготовки перед каждым следующим циклом обработки, когда положения торцов меняются с нижнего на верхний

поворота на 180° , то есть верхний и нижний торцы менялись местами. Средние значения твердости в контролируемых зонах изменились мало: HV 1119 – в периферийных зонах заготовки и HV 910 МПа – в приосевой. Вместе с тем сильно увеличились параметры рассеяния твердости, соответственно $D_{n,2} = 3838$ и $D_{o,2} = 9000$ при средней твердости по заготовке, как и после первого цикла HV 1015.

Перед третьим циклом обработки ($e_3 = 3,6$; $e_{1,3} = 10,8$) заготовку размещали в штампе после поворота на 180° . Средние значения твердости в контролируемых зонах изменились мало: HV 1120 – в периферийных зонах заготовки и HV 1022 – в приосевой, а параметры рассеяния твердости уменьшились, соответственно $D_{n,3} = 1858$ и $D_{o,3} = 2767$ при средней твердости по заготовке HV 1050.

После поворота на 180° и четвертого цикла деформирования ($e_4 = 3,6$; $e_{1,4} = 14,4$) расхождение средних значений твердости в контролируемых зонах составило 8,5-9,3 % при средней твердости по заготовке HV 1090 и параметре рассеяния твердости $D_4 = 1550$.

Изменение средних значений твердости \overline{HV} и ее дисперсии D по циклам деформации иллюстрирует неоднородность упрочнения в разных зонах заготовки (рис. 2). Максимальный уровень упрочнения зафиксирован в периферийной области заготовки. В осевой области заготовки отмечена максимальная неравномерность наклепа ($D \approx 9000$) после $e = 7,2$ с постепенным снижением ее до значений $D = 1550$ при величине накопления деформации $e = 14,4$. У периферийных зон заготовок достаточно высокое рассеяние твердости (колебание признака): $D = 1800-3900$, $e = 7,2-14,5$. Такой характер рассеяния твердости при РЗП в различных зонах поперечного сечения заготовки объясняется двумя причинами – активной деформацией периферии и застойными зонами у оси, снижающими локальную накопленную деформацию. При оценке изменения значений твердости и ее рассеяния по поперечному сечению заготовки в целом (рис. 3) можно выделить три стадии накопления деформации.

1-я стадия ($e \leq 5$) характеризуется интенсивным ростом наклепа ($\Delta HV_1 / HV_0 \approx 0,5-0,7$) и его рассеяния

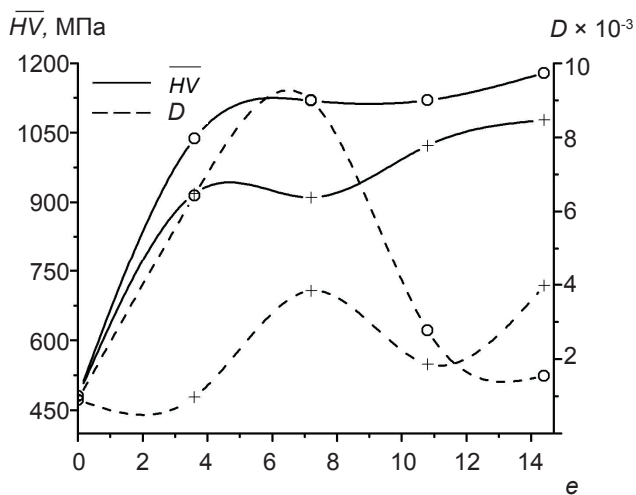


Рис. 2. Изменение средних значений твердости \overline{HV} и их дисперсий D от величины накопленной деформации e в осевой (+) и периферийной (o) областях заготовки из меди М1

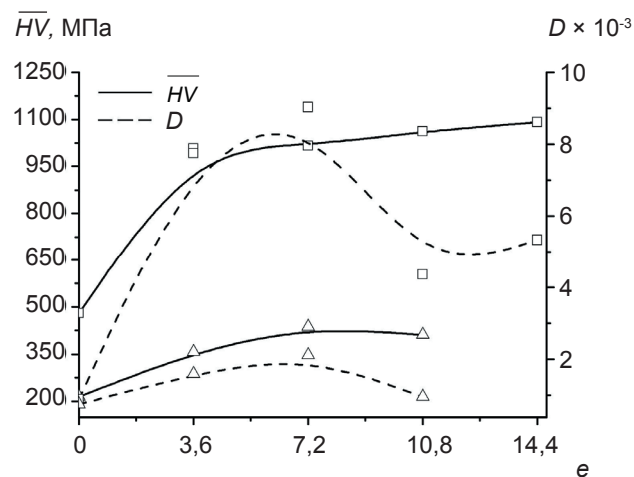


Рис. 3. Значения средних по поперечному сечению заготовки показателей качества обработки РЗП меди М1 (□) и вторичного алюминия (Δ)

Критерии качества заготовок из меди М1 и вторичного алюминия после РЗП

Цикл обработки	Деформация за цикл, ε	Накопленная деформация, e	\overline{HV}	S	$V, \%$	Объем выборки, шт
Медь М1						
0	0	0	480	29,5	6,1	75
1	3,6	3,6	1007	88	8,7	82
2	3,6	7,2	1016	110	10,8	82
3	3,6	10,8	1061	66	6,2	73
4	3,6	14,4	1091	73	6,7	48
Вторичный алюминий						
0	0	0	214	27,5	12,8	27
1	3,6	3,6	357	40	11,2	70
2	3,6	7,2	437	46	10,5	60
3	3,6	10,8	411	31	7,5	73

($D_1/D_0 \approx 10-50$). Это связано, по-видимому, с наличием упругих зон на опорном торце заготовки.

На 2-й стадии выдавливания ($e = 5-10$) отмечается стабильный уровень HV в образцах с высоким уровнем значений ее рассеяния.

На 3-й стадии выдавливания ($e > 10$) твердость остается на стабильно высоком уровне при снижении величины дисперсии на 40 %.

Критерии, представляющие качество обработки заготовок из меди и вторичного алюминия (тигельная плавка в электропечи, разливка в формы, отжиг при 400 °С, 1 ч), деформированных РЗП, приведены в таблице.

При обработке РЗП характер приращения наклепа монотонный во всей исследованной области деформации до значения ее накопления $e = 14,4$ (доверительные интервалы после 2, 3 и 4-го циклов соответственно 24,3; 15,5 и 21,1 МПа), а коэффициент вариации оставался на довольно низком уровне (6,7 %), что свидетельствует о достаточно малом разбросе исследуемых значений. Наблюдается существенный прирост прочности вторичного алюминия после накопления деформации $e = 3,6-7,2$ при монотонном снижении коэффициента вариации в процессе деформирования, хотя стандартное от-

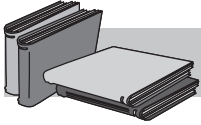
клонение изменяется немонотонно. Деградация твердости зафиксирована уже после $e = 10,8$, чего не было при РЗП меди.

Анализ приведенных результатов позволяет констатировать гомогенизацию твердости по поперечному сечению заготовок. Насыщение упрочнения достигается в диапазоне накопленной деформации $e = 5-14$ для образцов из меди и $e = 7-11$ для образцов из вторичного алюминия; в диапазоне $e = 10,8$ достигается уменьшение рассеяния твердости, определяемого дисперсией твердости (стандартным отклонением) и коэффициентом ее вариации.

Выводы

В качестве критерия оптимальности величины накопленной деформации материала заготовки при реверсивной закрытой прошивке целесообразно выбирать максимальное значение средней по поперечному сечению твердости при минимальном значении ее рассеяния.

Для гомогенизации твердости по поперечному сечению заготовок из меди М1 и вторичного алюминия при реверсивной закрытой прошивке достаточно накопление деформации на уровне $e = 10,8$.



ЛИТЕРАТУРА

1. Дель Г. Д. Твердость деформируемого металла // Изв. АН СССР. Металлы. – 1967. – № 4. – С. 38-39.
2. Смирнов-Аляев Г. А., Чикидовский В. П. Экспериментальные исследования в обработке металлов давлением. – Л.: Машиностроение, 1972. – 360 с.
3. Лебедев А. А., Музыка Н. Р., Волчек Н. Л. Определение поврежденности конструкционных материалов по параметрам рассеяния характеристик твердости // Проблемы прочности. – 2002. – № 4. – С. 5-10.
4. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.
5. Шторм Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества. – М.: Мир, 1970. – 368 с.
6. Джонсон У., Меллор П. Теория пластичности для инженеров. – М.: Машиностроение, 1979. – 568 с.

Анотація

Мирошниченко С. В., Коновалов Ю. В.

Експериментальне вивчення твердості матеріалу в процесі реверсивної закритої прошивки

Для кількісної оцінки якості матеріалу заготовки, яку піддавали рівноканальній багатоцикловій деформації реверсивною закритою прошивкою, в якості критерію оцінки гомогенності його механічних властивостей вибрано твердість по Віккерсу HV, її дисперсію D та коефіцієнт варіації V , які дають можливість вибору оптимальних режимів обробки тиском матеріалу заготовки.

Ключові слова

твердість по Віккерсу, дисперсія твердості, коефіцієнт варіації, багатоциклова деформація, реверсивна закрита прошивка

Summary

Miroshnichenko S. V., Konovalov Yu. V.

Experimental study of material hardness during reversive enclosed broaching

To quantify the quality of billet material, subjected to equal-channel multicyclic deformation as criterion for evaluating homogeneity of its mechanical properties are Vickers hardness (HV), its dispersion (D) and coefficient of variation (V), which give the possibility to choose the optimal modes of forming material.

Keywords

Vickers hardness, hardness dispersion, factor of a variation, multicyclic deformation, the reversive enclosed broaching

Поступила 18.09.12