

PACS: 81.40.Lm, 62.20.Fe

С.В. Мирошниченко

ДИСПЕРСИЯ ТВЕРДОСТИ ЗАГОТОВКИ КАК КРИТЕРИЙ ОПТИМАЛЬНОСТИ НАКОПЛЕННОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины
ул. Р. Люксембург, 72, г. Донецк, 83114, Украина

Статья поступила в редакцию 1 апреля 2005 года

Для количественной оценки качества состояния материала, подвергнутого пластической деформации, выбраны критерии оценки гомогенности его механических свойств, которые дают возможность выбора оптимальных режимов деформационной обработки материала заготовки.

Качество продукции заготовительного, в частности кузнечно-штамповочного, производства в машиностроении трактуется как совокупность свойств, обуславливающих пригодность заготовок изделий для удовлетворения определенных требований в соответствии с их назначением [1,2]. В связи с резко возросшим в последние годы интересом к проблеме повышения характеристик материала заготовок путем накопления пластических деформаций из множества свойств объектом анализа целесообразно выбрать подмножество механических свойств, оценка качества которых дает возможность судить о способности металла к противостоянию воздействию контактируемого тела или окружающей среды в процессе использования металлоизделия.

Механические свойства подмножества r_{4i} [2] характеризуются в общем случае прочностью r_{41} и пластичностью r_{42} материала. По методам испытаний прочность определяется твердостью HV, пределом текучести σ_{yield} , пределом прочности σ_b , а пластичность – удлинением δ , относительным сужением ψ и ударной вязкостью КСУ. Известно, что показатели HV, σ_{yield} , σ_b обычно являются между собой линейно-зависимыми, поэтому на первом этапе в подмножество r_{4i} достаточно включить лишь твердость и относительное сужение.

Одним из весомых показателей происшедшего изменения механических свойств металла, подвергнутого пластической деформации в холодном состоянии, является изменение его твердости (наклеп). На основании зависимости между твердостью и интенсивностью напряжений и деформаций все более широкое применение находит метод определения степени деформации

и интенсивности напряженного состояния в пластической области деформируемого тела испытанием твердости [3,4]. Однако при исследовании процессов разрушения материалов вследствие накопления повреждений сама характеристика твердости слабо чувствительна к изменениям поврежденности материала. Наиболее представительными в отношении оценки состояния структуры материала следует считать не абсолютные значения его твердости, а характеристики рассеяния абсолютных значений результатов измерений, выполненных на одинаковых образцах в идентичных условиях [5].

Для получения характеристик рассеяния результатов изменения твердости при накоплении пластических деформаций важно определить, как статистически распределено это свойство. В механике материалов чаще всего используются два распределения: Вейбула [6] и нормальное [7]. По-видимому, каждое из них наиболее адекватно описывает определенную группу материалов в определенной стадии процесса поврежденности. Для анализа технологий выдавливания нами принято нормальное распределение, что подтверждено проверкой принадлежности экспериментальных выборок к соответствующей генеральной совокупности с помощью непараметрического критерия χ^2 , а для оценки гомогенности твердости материала в отдельных зонах и характеристики ее по объему заготовки – среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации [8]. Такие статистические характеристики твердости дают возможность проследить за изменением структурного состояния материала при различных степенях разовой и накопленной деформаций, а также в зависимости от условий эксплуатации изделия выбирать схему технологического процесса и режимы его отдельных операций. Для иллюстрации сказанного на рис. 1 дана зависимость изменения твердости \overline{HV} и ее дисперсии в процессе выдавливания заготовок винтовым пресованием (ВП) и реверсивной закрытой прошивкой (РЗП) [8,9]. Особый интерес вызывает сравнение характеристик упрочнения в осевых и периферийных зонах заготовок, обработанных ВП (рис. 1,а) и РЗП (рис. 1,б). Максимальный уровень упрочнения при ВП зафиксирован на оси заготовки, в то время как при РЗП – в периферийной области.

При обработке РЗП отмечены максимальные дисперсии твердости в осевой области заготовки $D \approx 9000$ ($e = 7.2$) с постепенным снижением до $D = 1550$ ($e = 14.4$), а при ВП – $D = 3025$ ($e = 4.5$) с уменьшением до $D = 100$ ($e = 8.5$).

Достаточно высокие значения рассеяния твердости $D = 1800-3900$ ($e = 7.2-14.5$) наблюдались на периферийных зонах заготовок, обработанных РЗП. Такой характер рассеяния твердости в различных зонах поперечного сечения заготовки объясняется двумя причинами: активной деформацией периферии и застойными зонами у оси, снижающими накопленную деформацию. Это подтверждается и относительно низким наклепом в схеме РЗП по сравнению с ВП.

При оценке рассеяния твердости по поперечному сечению заготовки в целом (рис. 1,в) можно выделить три стадии накопления деформации.

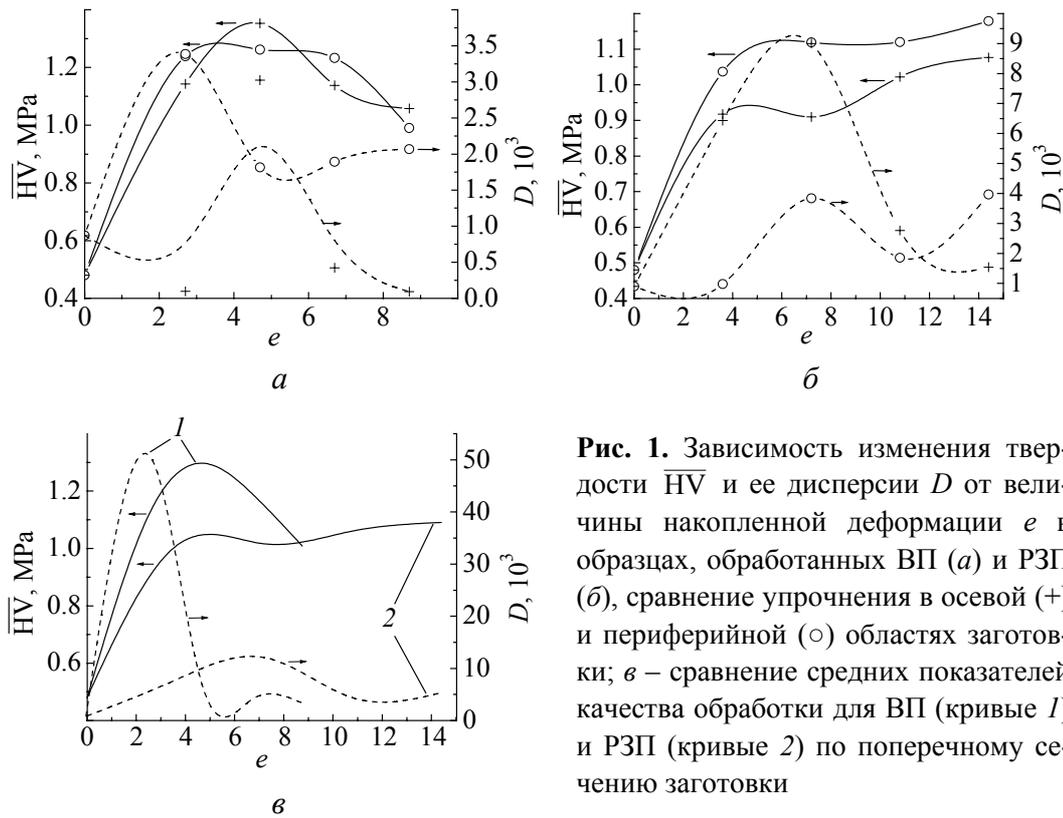


Рис. 1. Зависимость изменения твердости \overline{HV} и ее дисперсии D от величины накопленной деформации e в образцах, обработанных ВП (*a*) и РЗП (*б*), сравнение упрочнения в осевой (+) и периферийной (\circ) областях заготовки; *в* – сравнение средних показателей качества обработки для ВП (кривые 1) и РЗП (кривые 2) по поперечному сечению заготовки

1-я стадия ($e \leq 5$) характеризуется интенсивным ростом наклепа ($\Delta HV_1/HV_0 \approx 0.5-0.7$) и его рассеяния ($D_1/D_0 \approx 10-50$) для обеих схем выдавливания. Однако при обработке ВП к концу этой стадии рассеяние твердости резко снижается, а при РЗП – продолжает расти, что связано, по-видимому, с наличием упругих зон на опорном торце заготовки.

На 2-й стадии выдавливания ($e = 5-7.5$) отмечается деградация твердости образцов, полученных ВП, и стабильный уровень HV в образцах, обработанных РЗП при достаточно высоком уровне дисперсии.

3-я стадия ($e > 7.5$) соответствует нарастанию процесса деградации твердости при ВП, но ее дисперсия остается на уровне исходной заготовки. При обработке РЗП твердость остается стабильной до $e = 14.5$ при стабилизации рассеяния на уровне, соответствующем ВП. Статистическая значимость деградации твердости в ВП подтверждается значением доверительных интервалов, которые после второго и третьего циклов соответственно равны 37.3 и 36.4 МПа. При обработке РЗП характер приращения наклепа монотонный во всей исследованной области деформации до значения ее накопления $P = 14.4$ (доверительные интервалы после 4, 6 и 8-го циклов соответственно 24.3; 15.5 и 21.1 МПа), а коэффициент вариации остается на достаточно низком уровне (0.067).

Твердость по Виккерсу, измеренная на обоих торцах медной заготовки диаметром и высотой 30 мм, прошедшей обработку многоциклового РЗП при максимальном нормальном осевом напряжении на пуансоне $\sigma_z = 2.1$ ГПа

и противодействию 400 МПа [5], сравнивается с твердостью образцов, вырезанных из медных прессовок с поперечным сечением 14×14 мм, длиной 100 мм, после обработки ВП при давлении на пуансоне $\sigma_z = 1.2$ ГПа и противодействию 0.3 ГПа [6].

Выводы

В качестве критерия оптимальности величины накопленной пластической деформации материала заготовки целесообразно выбрать максимальное значение твердости при ее минимальном рассеянии.

1. Б.В. Бойцов, Ю.В. Крянев, М.А. Кузнецов, КШП № 12, 2 (1997).
2. Б.А. Мигачев, В.П. Волков, КШП № 12, 18 (1997).
3. Г.Д. Дель, Изв. АН СССР, Металлы № 4, 97 (1967).
4. Г.А. Смирнов-Аляев, В.П. Чикидовский, Экспериментальные исследования в обработке металлов давлением, Машиностроение, Ленинград (1972).
5. А.А. Лебедев, Н.Р. Музыка, Н.Л. Волчек, Проблемы прочности № 4, 5 (2002).
6. W. Weibull, J. Appl. Mech. **18**, 293 (1951).
7. Р. Шторм, Теория вероятностей, математическая статистика, статистический контроль качества, Мир, Москва (1959).
8. С.В. Мирошниченко, В.Г. Сынков, С.Г. Сынков, в сб.: Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у металургії і машинобудуванні (2002), с. 199.
9. Я.Е. Бейгельзимер, В.Н. Варюхин, В.Г. Сынков, С.Г. Сынков, ФТВД **10**, № 1, 24 (2000).

S.V. Miroshnichenko

DISPERSION OF BILLET HARDNESS AS A CRITERION OF OPTIMALITY FOR ACCUMULATED STRAIN

The estimation criteria of homogeneity of material mechanical properties have been chosen to define quantitatively the quality of a material after severe plastic deformation. These criteria make it possible to choose the optimum conditions of deformation treatment of material.

Fig. 1. Influence of alteration of hardness HV and dispersion D on accumulated deformation rate e in billets machined by twist extrusion (TE) (a) and reversible closed broaching (RCB) (b) methods, comparison of the hardness at axial (+) and peripheral (○) zones of specimen; σ – comparison of average quality criteria after TE (curve 1) and RCB (curve 2) deformation measured on the cross-section of billet