



УДК 621.771

А.М. Золотов, Р.А. Паршиков, Н.Ю. Боклаг,
С.В. Паршин, Е.В. Трутнев

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЗАГОТОВОК ПРИ РАВНОКАНАЛЬНОМ УГЛОВОМ ПРЕССОВАНИИ В S-ОБРАЗНОМ КАНАЛЕ

Целью настоящей работы было изучение кинематики течения металла при комбинированном процессе экструзии и равноканального углового прессования (РКУП) в *S*-образном канале и анализ напряженно-деформированного состояния (НДС) в металле заготовок, подвергнутых этому процессу.

Схема процесса приведена на рис. 1

Особенностью этого комбинированного процесса является возможность получения длинномерных заготовок из различных материалов с использованием процессов интенсивной пластической деформации (РКУП в *S*-образном канале), что представляет большой практический интерес [1, 2].

Моделирование процесса проводилось с помощью программного комплекса «Multidef», реализующего метод конечных элементов (МКЭ) и позволяющего решать термоэластопластические задачи.

При моделировании процесса экструзии рассматривалось течение металла в условиях осесимметричной деформации, а при моделировании процесса РКУП — течение металла в условиях плоско-деформированного состояния ($\varepsilon_z = 0$).

Так как процессы деформирования при экструзии и РКУП — нестационарны, они разбивались на ряд шагов по времени, для каждого из которых определялось НДС в металле для текущего момента времени.

Поскольку условия деформирования при экструзии и РКУП различаются, моделируя комбинированный процесс его разбивали условно на два перехода: процесс экструзии заготовок и процесс РКУП в *S*-образном канале.

Кривые пластичности для исследуемых материалов определялись экспериментально методом осадки образцов (рис. 2).

В модели коэффициент трения на контактной поверхности между заготовкой и инструментом задавался равным 0,2.

Сетка конечных элементов состояла из 600 изопараметрических квадратичных элементов с 1941 узлами.

Геометрия матрицы для экструзии представлена на рис. 3.

На рис. 4 и 5 отражены стадии процесса течения металла при РКУП в *S*-образном канале.

Как видно из геометрии элементов сетки, в результате экструзии зона, прилегающая к оси заготовки, в основном деформируется за счет удлинения вдоль оси. А зоны, прилегающие к контактной поверхности матрицы, подвергаются, кроме линейных, еще и значительным сдвиговым деформациям, что связано с трением на контактной поверхности и углом захода матрицы.

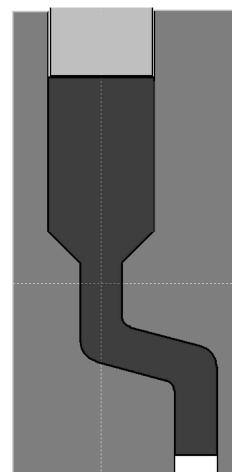


Рис. 1. Схема комбинированного процесса экструзии и равноканального углового прессования в *S*-образном канале

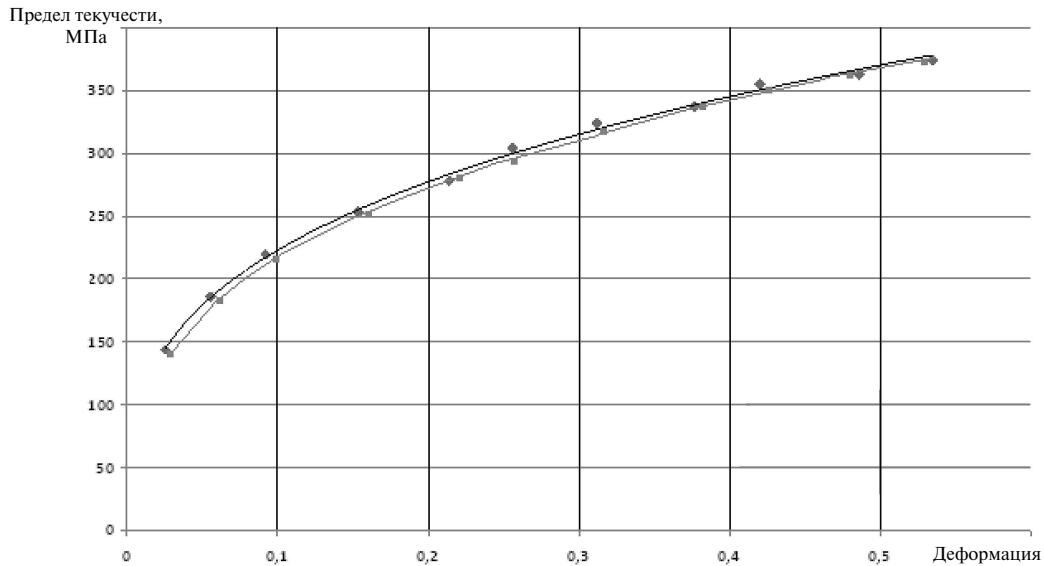


Рис. 2. Кривые текучести меди при осадке образцов
(— — HCP — 99,5%; — — OFE — 99,9%).

После 27-й стадии процесс в дальнейшем до его окончания развивается как стационарный.

На рис. 6–16 представлены распределения параметров напряженно-деформированного состояния металла в заготовке при экструзии.

Как видно из рис. 10, в результате экструзии в металле заготовки накапливаются пластические деформации, достигающие значений порядка 140–200 %.

При моделировании процесса РКУП рассматривалось течение металла в условиях плоско-деформированного состояния ($\varepsilon_z = 0$). Поскольку процесс деформирования при РКУП нестационарен, он разбивался на ряд шагов по времени, для каждого из которых определялось НДС в металле для данного момента времени.

На рис. 17 приведена геометрия S-образного канала и значения геометрических параметров.

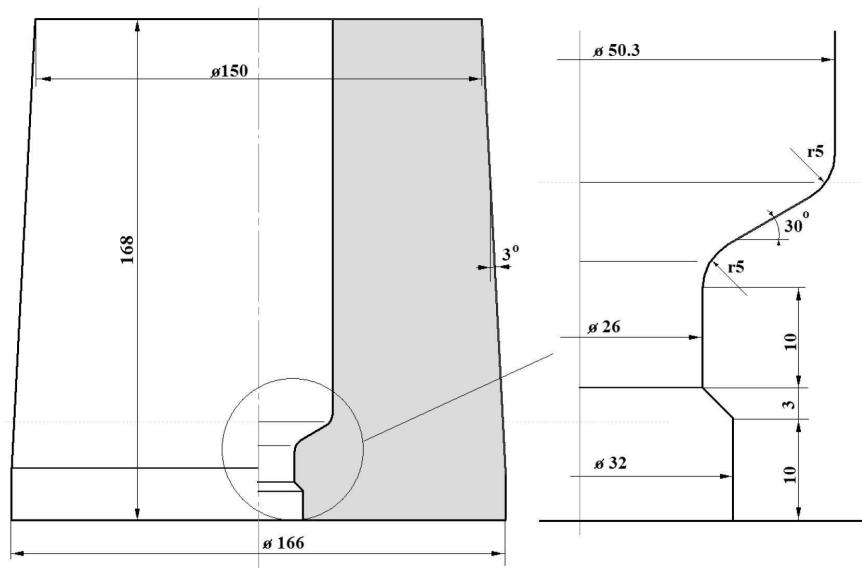


Рис. 3. Геометрия матрицы для экструзии

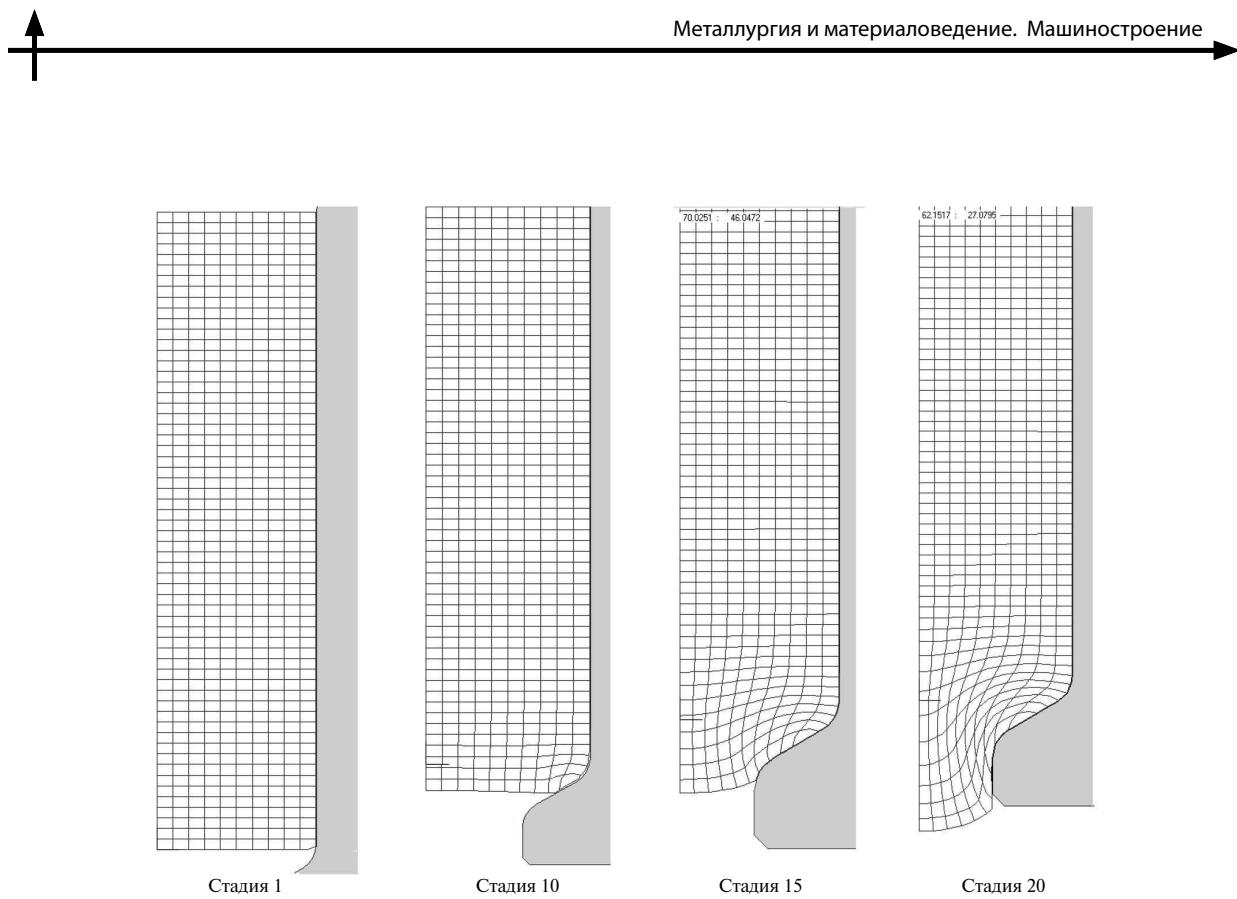


Рис. 4 Стадии процесса экструзии заготовки (стадии 1–20)

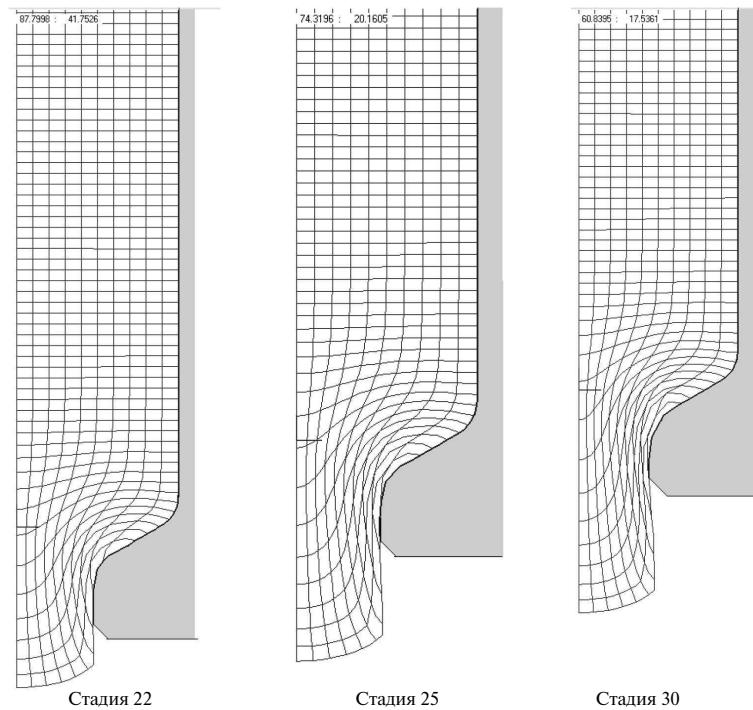


Рис. 5. Стадии процесса экструзии заготовки (стадии 22–30)



Рис. 6. Распределение радиальных деформаций ε_r в образце при экструзии

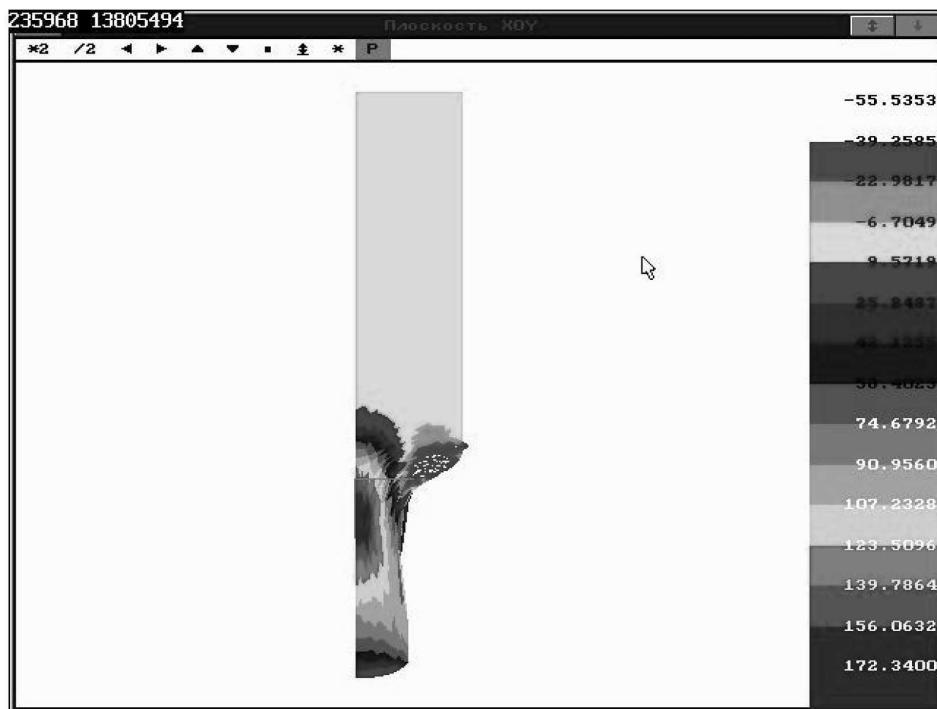


Рис. 7. Распределение деформаций ε_z в образце при экструзии

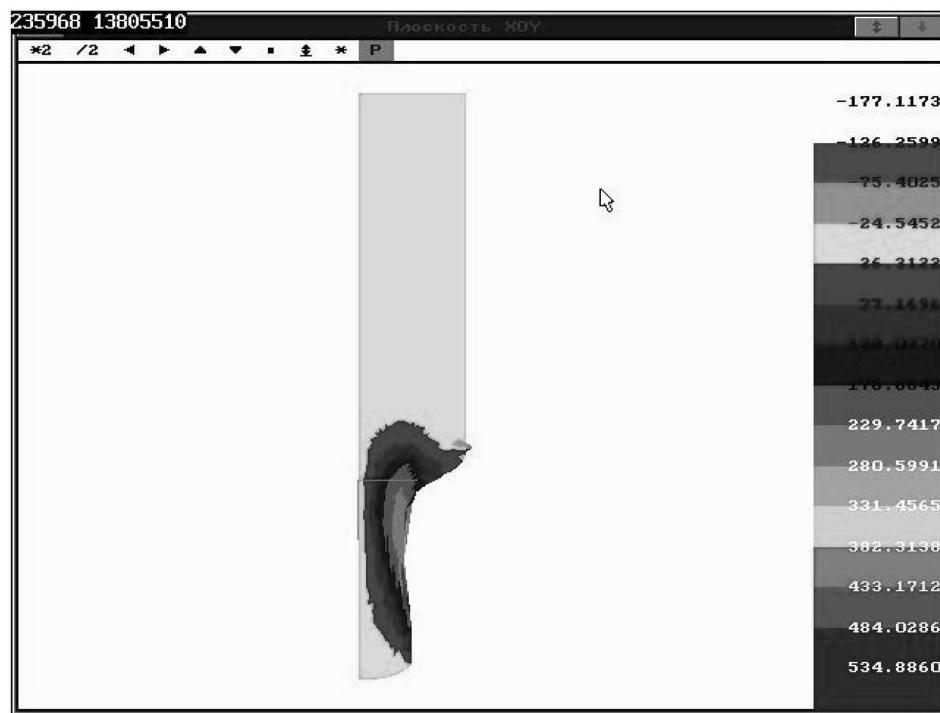


Рис. 8. Распределение тангенциальных деформаций ε_0 в образце при экструзии

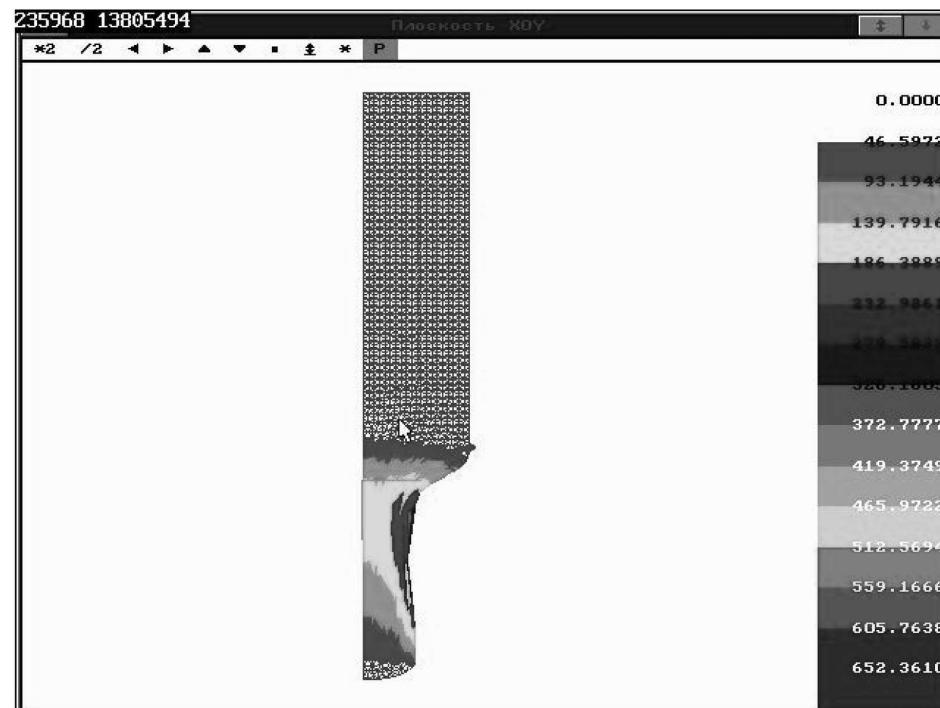


Рис. 9. Распределение сдвиговых деформаций γ_{rz} в образце при экструзии

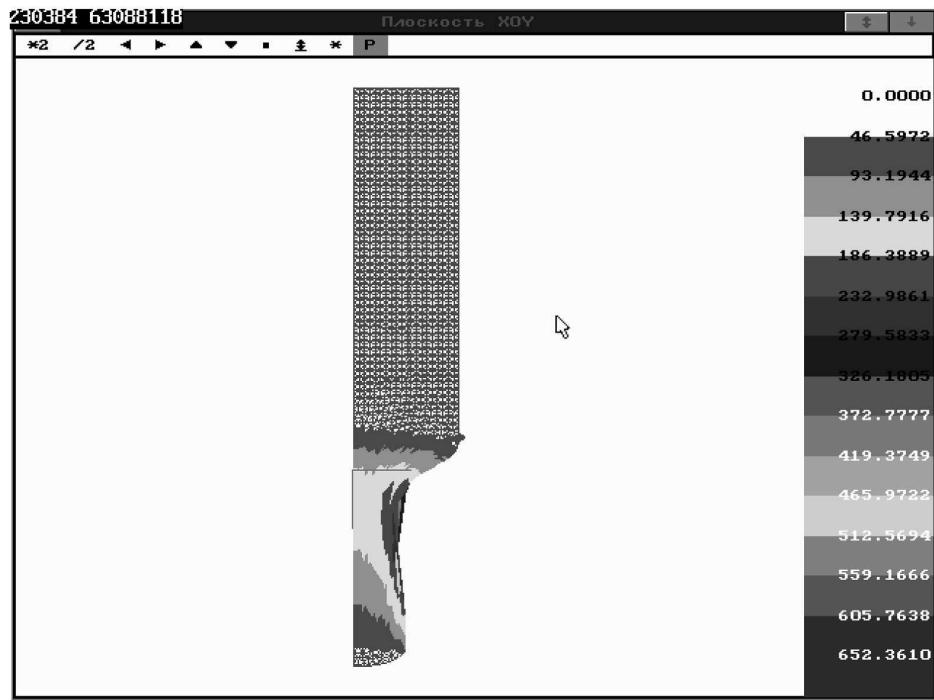


Рис. 10. Распределение интенсивности деформаций ε_i в образце при экструзии



Рис. 11. Распределение радиальных напряжений σ_r в образце при экструзии

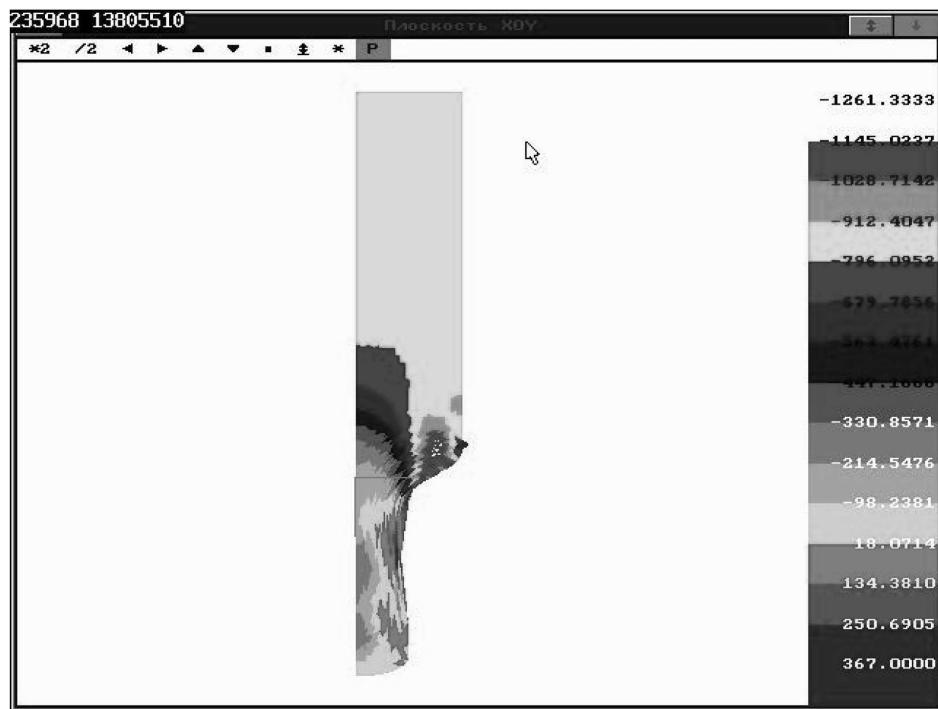


Рис. 12. Распределение напряжений σ_z в образце при экструзии



Рис. 13. Распределение тангенциальных напряжений σ_θ в образце при экструзии



Рис. 14. Распределение касательных напряжений τ_z в образце при экструзии

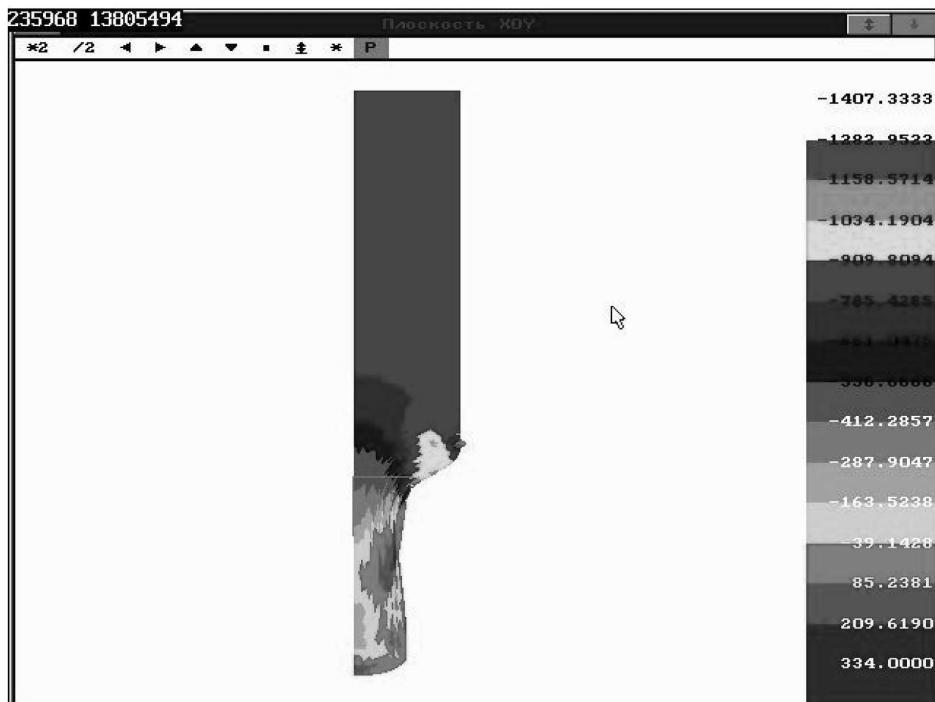


Рис. 15. Распределение средних напряжений σ_0 (гидростатического давления) в образце при экструзии

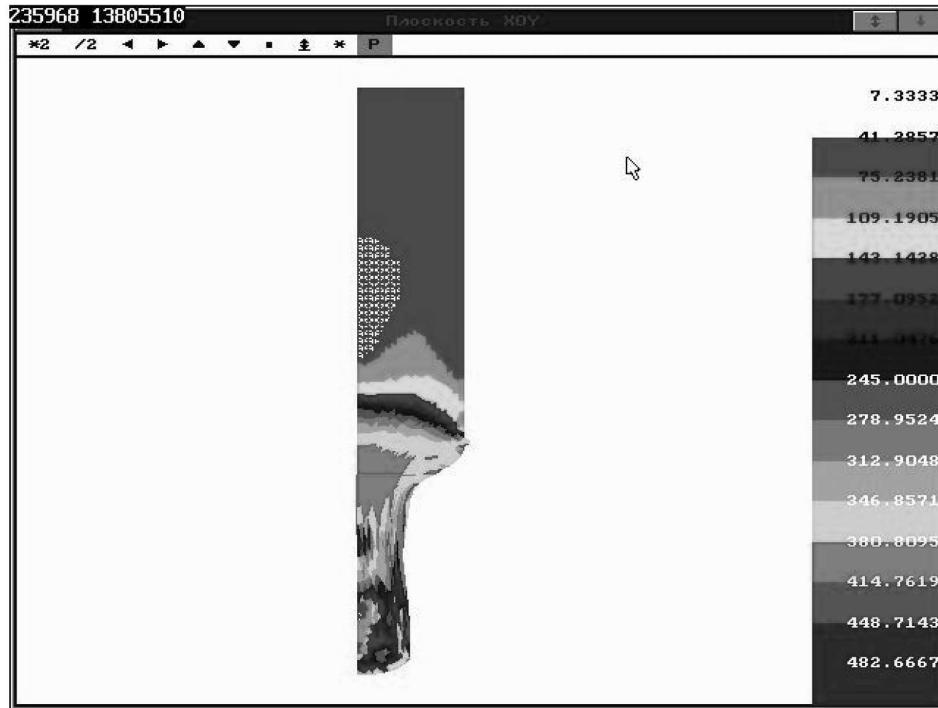


Рис. 16. Распределение интенсивности напряжений σ_i в образце при экструзии

В модели коэффициент трения на контактной поверхности между заготовкой и инструментом задавался равным 0,2. Сетка конечных элементов состояла из 420 изопараметрических квадратичных элементов с 1365 узлами.

На рис. 18 представлены стадии процесса течения металла при РКУП.

Как видно из представленных стадий процесса течения металла, он имеет несколько характерных этапов. В начале процесса течения (рис. 18, стадии 10 и 20) происходит изгиб образца в канале. Затем образуется так называемый «нос» на передней части заготовки (рис. 18, стадии 20 и 30).

После прохождения передней частью заготовки горизонтальной части канала ее вершина упирается в вертикальную стенку нижней части канала (стадия 32), возникает новая зона контакта на этой поверхности, которая постепенно расширяется по мере продвижения заготовки в канале (стадии 34–60). Возникает второй изгиб заготовки. Контакт в горизонтальной зоне канала происходит только по нижней стенке, т. е. верхний угол еще не заполнен.

Далее происходит последовательное заполнение нижней части канала, а горизонтальная часть канала заполняется полностью, т. е. в ней возникает двухсторонний контакт (стадии 65–80).

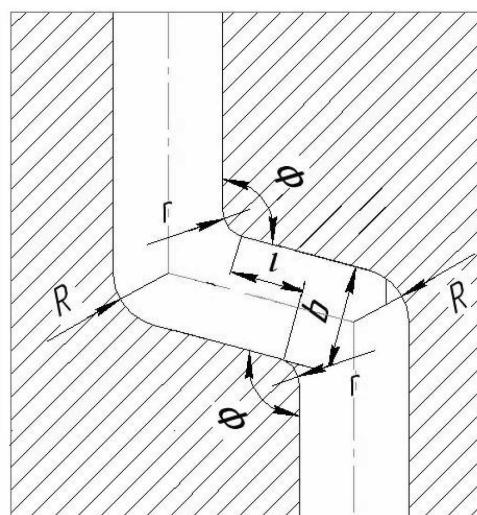


Рис. 17. Геометрия S-образного канала и значения геометрических параметров:
 $\Phi = 105^\circ$, $R = 10$ мм, $b = 5$ мм, $l = 10$ мм

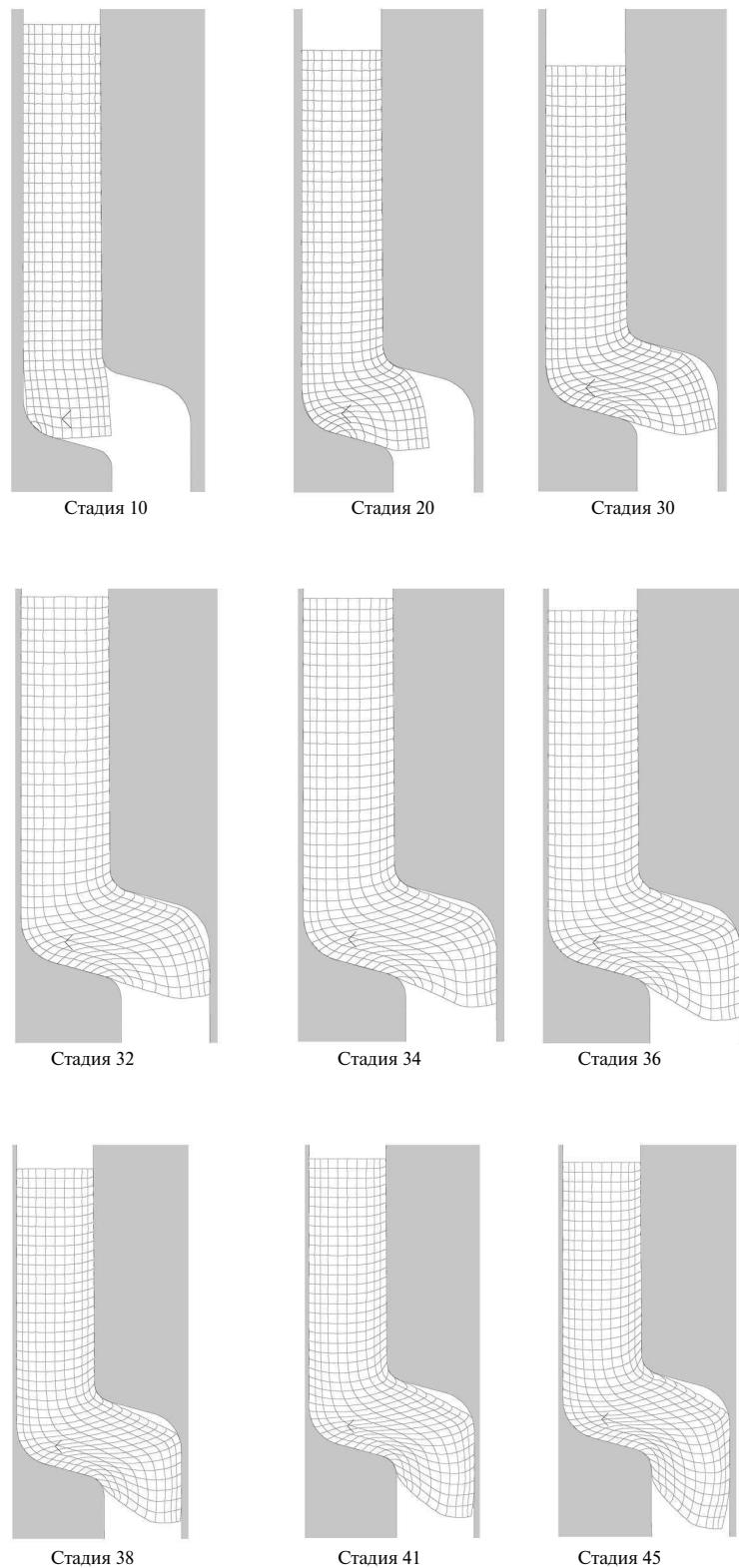


Рис. 18. Стадии процесса течения металла при РКУП
в *S*-образном канале

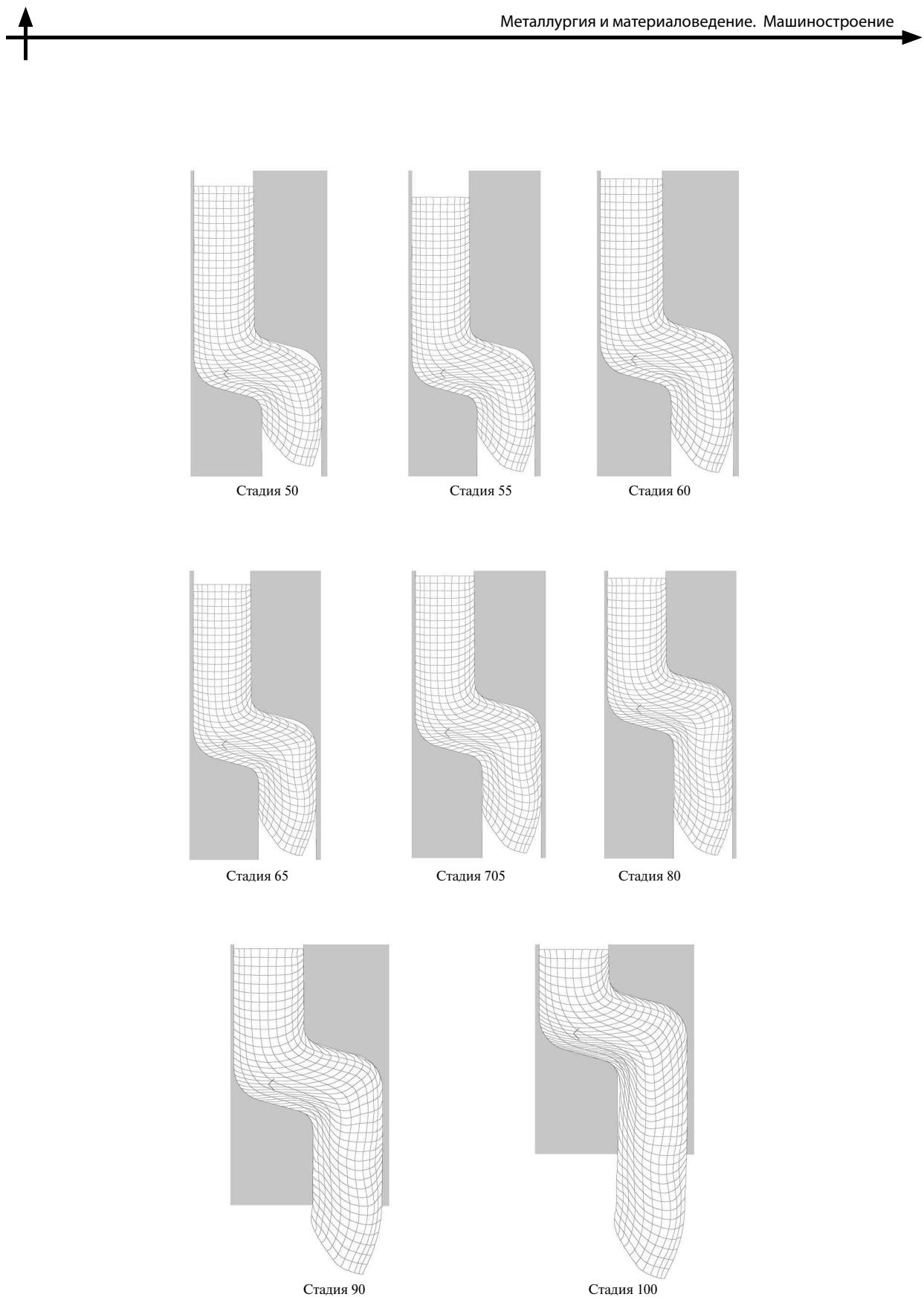


Рис. 18. Окончание

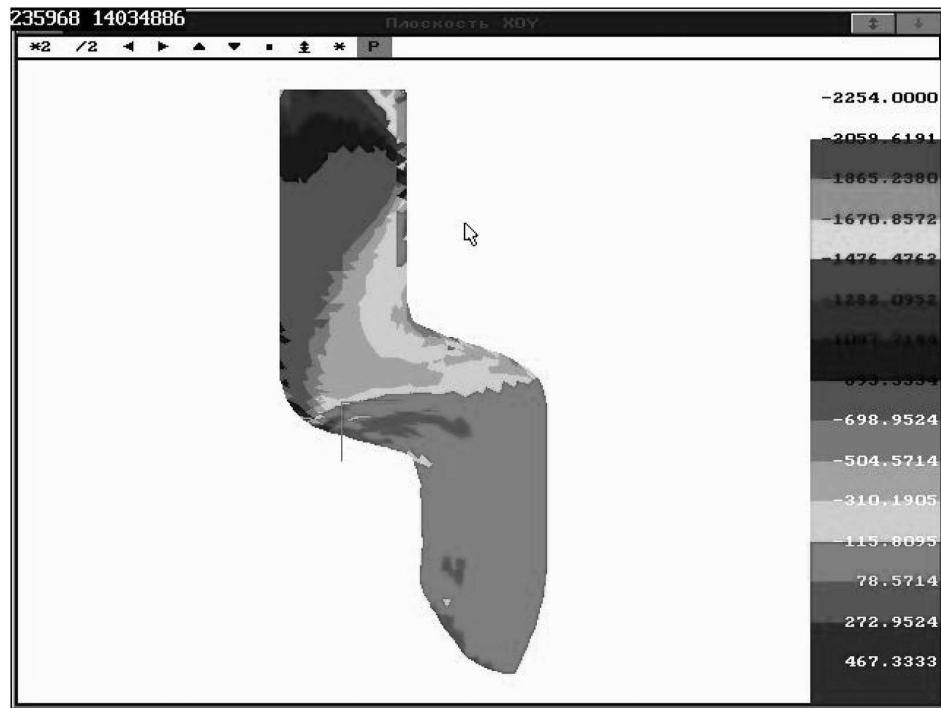


Рис. 19. Распределение напряжений σ_x в заготовке при РКУП

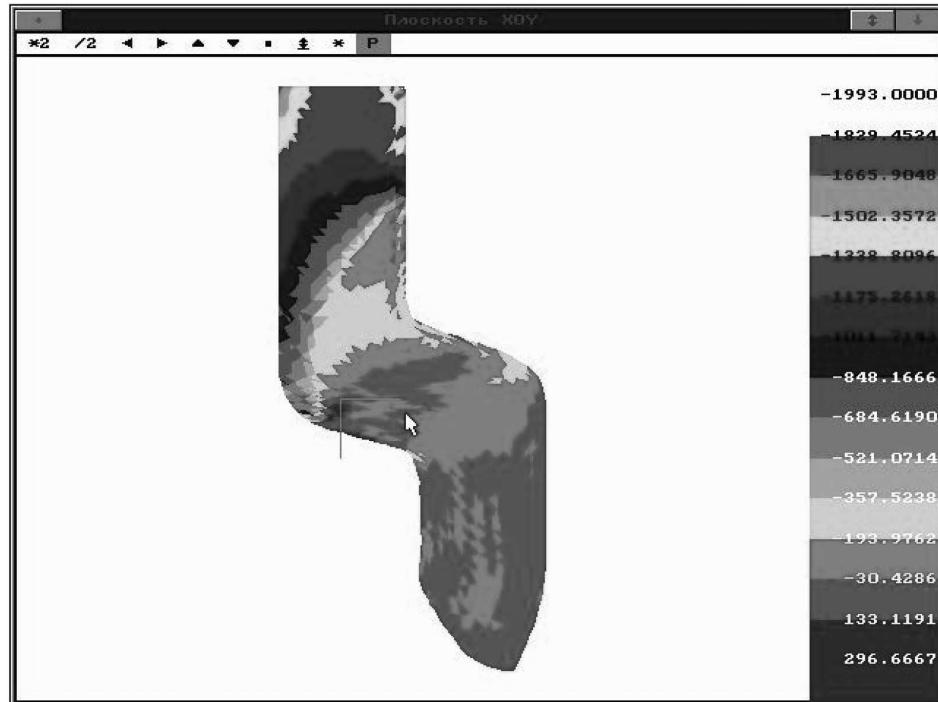


Рис. 20. Распределение напряжений σ_y в заготовке при РКУП

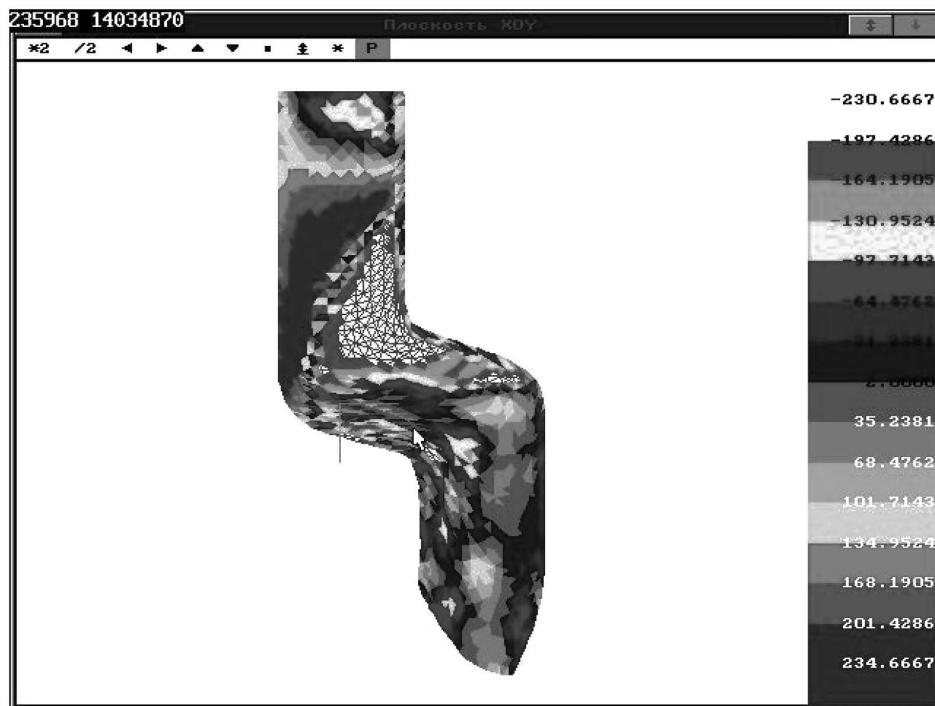


Рис. 21. Распределение сдвиговых напряжений τ_{xy} в заготовке при РКУП

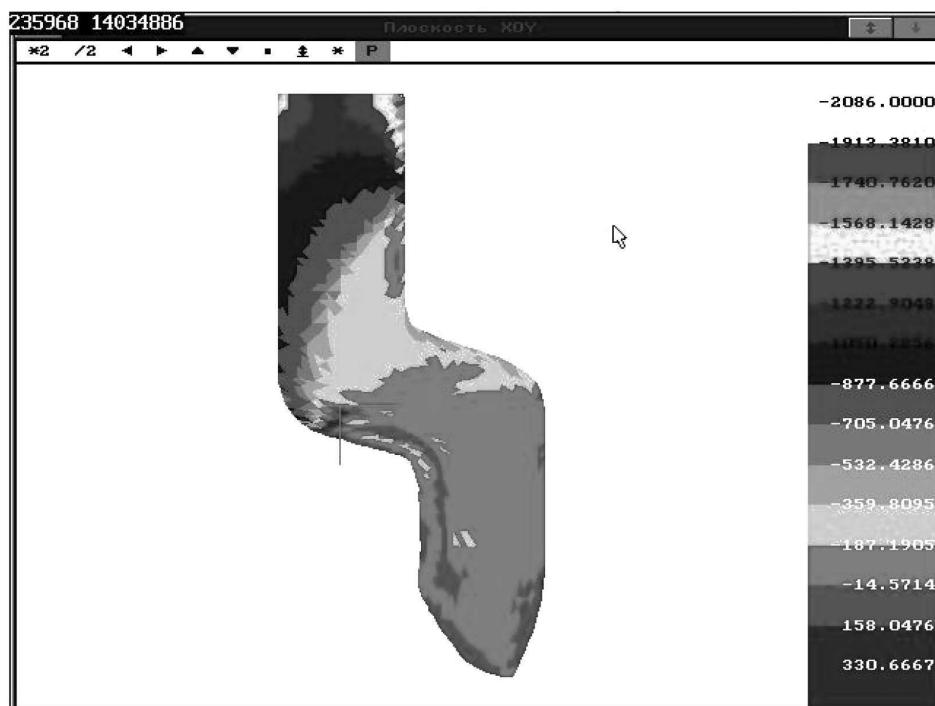


Рис. 22. Распределение напряжений σ_z в заготовке при РКУП

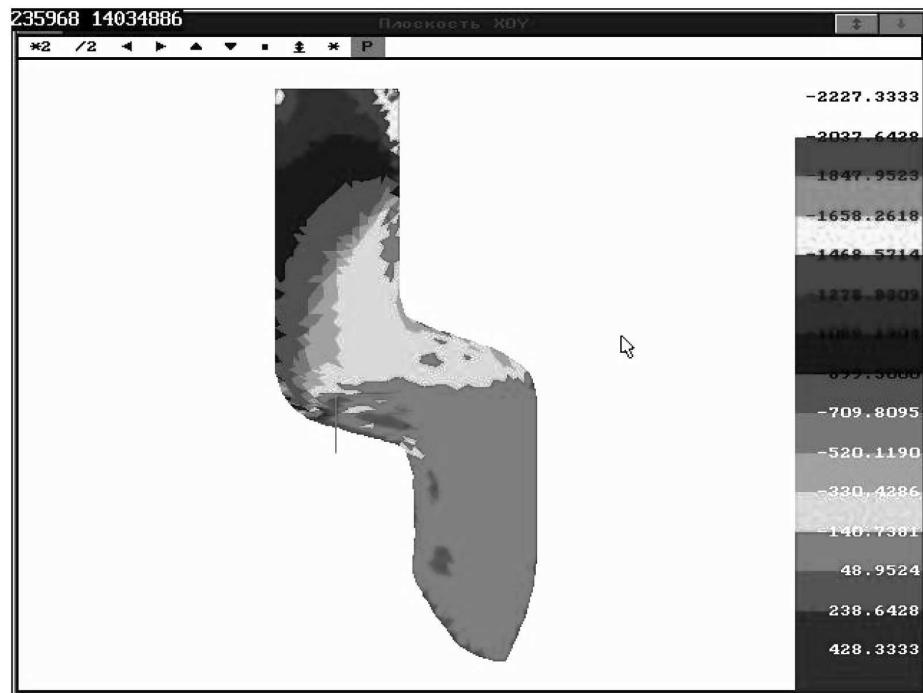


Рис. 23. Распределение средних напряжений σ_0 (гидростатического давления) в заготовке при РКУП



Рис. 24. Распределение интенсивности напряжений σ_i в заготовке при РКУП

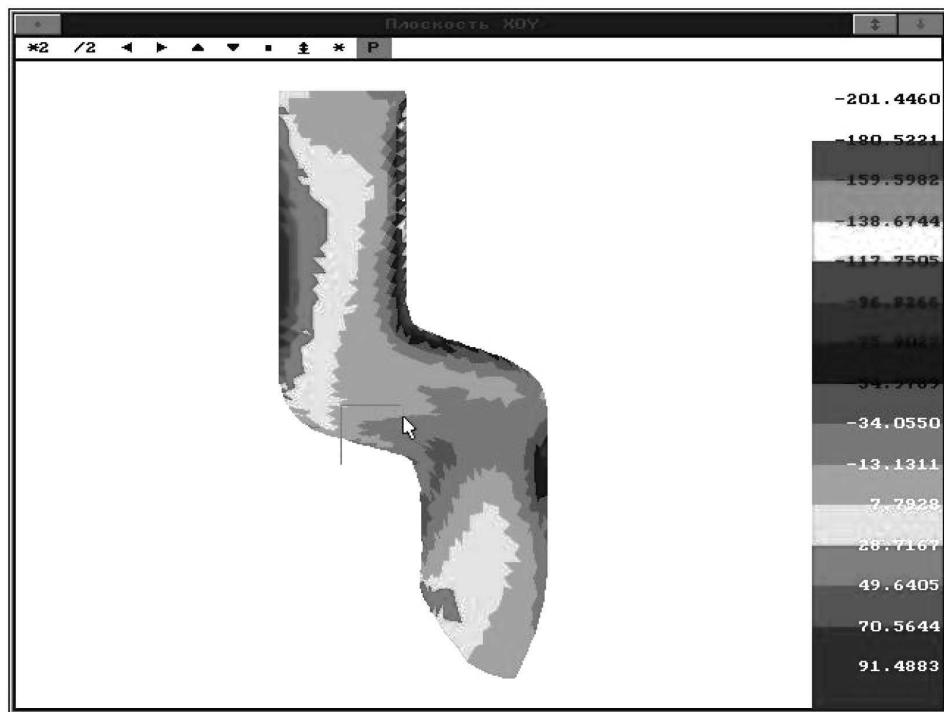


Рис. 25. Распределение деформаций ε_x в заготовке при РКУП

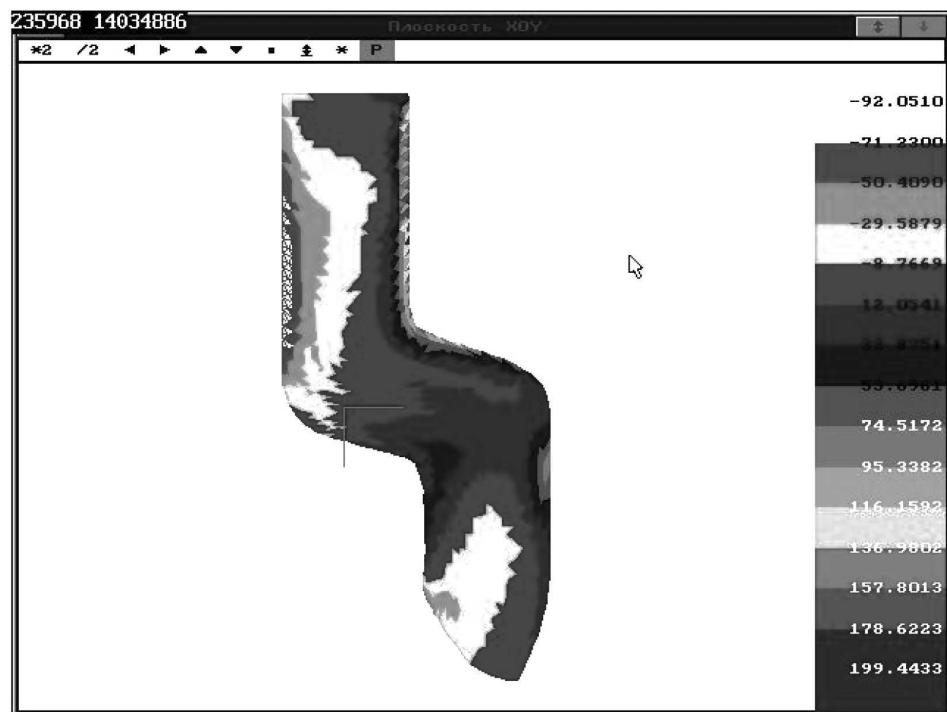


Рис. 26. Распределение деформаций ε_y в заготовке при РКУП

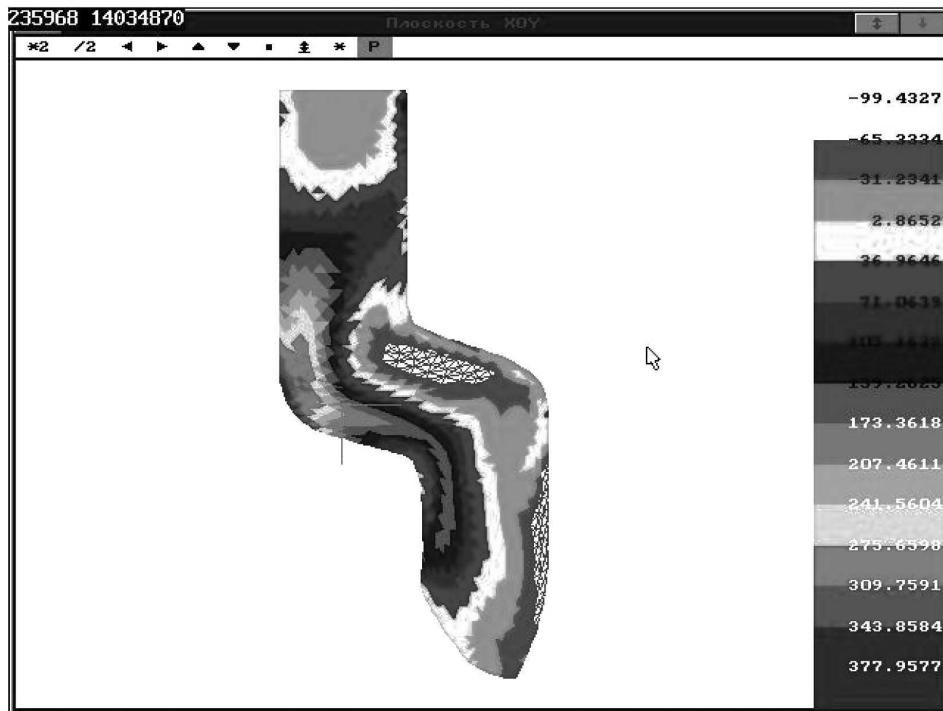


Рис. 27. Распределение сдвиговых деформаций γ_{xy} в заготовке при РКУП

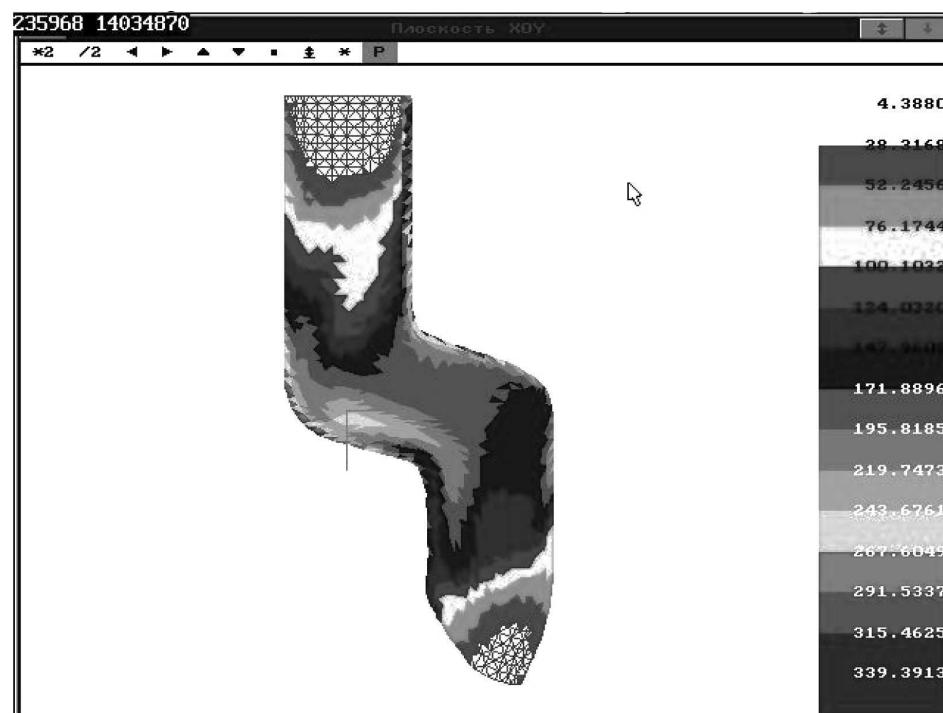


Рис. 28. Распределение интенсивности деформаций ϵ_i в заготовке при РКУП



После этого этапа, как можно судить по геометрии сетки конечных элементов, в образце создаются почти равномерные сдвиговые деформации (стадия 100). Такое деформированное состояние сохраняется до конца процесса.

На рис. 19–28 представлено распределение параметров напряженно-деформированного состояния в заготовке.

Рис. 28 демонстрирует, что при прохождении канала данной формы в заготовке накапливаются деформации в пределах 170–240 %. Таким

образом, суммарные накопленные деформации в заготовке при комбинированном процессе экструзии и РКУП в *S*-образном канале могут достигать 300–400 %, что должно существенно сказаться на структуре и свойствах получаемых заготовок. Кроме того, следует учесть: данный процесс позволяет получать длинномерные заготовки, что имеет значительный практический интерес.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рудской, А.И. Наноструктурированные металлические материалы [Текст] / А.И. Рудской.— СПб.: Наука, 2011.— 207 с.

1. Рудской, А.И. Анализ особенностей деформи-

рования заготовок методами интенсивной пластической деформации [Текст] / А.И. Рудской, А.М. Золотов, Р.А. Паршиков, Е.С. Смирнов // Металлообработка.— 2009. № 6(54).— С. 41–43.