

УДК 621.791.753.0

Г. Ф. Ловшенко, канд. техн. наук, доц., Ф. Г. Ловшенко, д-р техн. наук, проф.,
А. И. Хабибуллин

РАСЧЕТ МНОГОСЛОЙНЫХ КОНТЕЙНЕРОВ ДЛЯ ЭКСТРУЗИИ ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛОВ

Дан краткий анализ проблем, возникающих при экструзии механически легированных дисперсно-упрочненных гранулированных композиций на основе металлов. Предложена методика выбора наиболее подходящего материала для изготовления контейнеров, режимы его термообработки и метод расчета оптимальных геометрических параметров двух- и трехслойных контейнеров. Применение многослойных контейнеров для экструзии дисперсно-упрочненных композиционных материалов на основе меди позволило значительно снизить действующие напряжения и повысить стойкость технологической оснастки в 7–12 раз.

Введение

Основные технологические этапы изготовления механически легированных дисперсно-упрочненных материалов на основе металлов (алюминия, меди, железа, никеля) включают в себя реакционное механическое легирование; холодное прессование полученных дисперсно-упрочненных гранулированных композиций; термообработку холоднопрессованных брикетов; горячее прессование (экструзия) прутков требуемого профиля; формообразование заготовок методами горячей объемной штамповки и, наконец, получение изделий с помощью механообработки.

Большую роль в формировании структуры и высокого комплекса физико-механических свойств материалов играет горячая экструзия с высокими степенями деформации. В процессе экструзии нагретый брикет с композиционным материалом помещается в контейнер и выдавливается через отверстие в матрице. Профиль получаемого изделия соответствует форме и размерам отверстия матрицы.

Экструзия механически легированных дисперсно-упрочненных металлических композиций имеет ряд особенностей, обусловленных их физико-механическими свойствами. Материалы характеризуются высокой температурой рекристаллизации, находящейся в пределах $0,80-0,95T_{пл}$ основы. Этот интервал определяет темпера-

туру нагрева заготовок для горячего прессования. Кроме того, дисперсно-упрочненные композиции имеют высокие значения горячей твердости, характеристик жаропрочности и относительно низкую пластичность. Для снижения скорости охлаждения заготовок, помещенных в контейнер для обработки, температура нагрева последней должна быть предельно максимальной, но не превышать температуру ее разупрочнения, которая для лучших теплостойких сталей находится ниже $600\text{ }^{\circ}\text{C}$. При этом следует учитывать, что высокая температура нагрева заготовок и большие усилия при экструзии вызывают дополнительный разогрев на глубину более 2 мм поверхностей матрицы и контейнера, находящихся в непосредственном контакте с выдавливаемой композицией, до температур, на $100-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ превышающих температуру рекристаллизации теплостойких сталей. Жесткие температурно-силовые условия работы матриц и контейнеров обуславливают их низкую стойкость и, как следствие, резко повышают стоимость материалов. Так, например, при экструзии механически легированных жаропрочных медных материалов с пределом текучести более 700 МПа стойкость контейнера не превышает 100 рабочих циклов, а стойкость матрицы – 50 рабочих циклов [1]. В связи с этим задача повышения стой-

кости инструментальной оснастки для экструзии механически легированных дисперсно-упрочненных материалов является важной и актуальной.

Повышение стойкости прессового инструмента достигается применением обратной экструзии, при которой перемещение композиции относительно стенок контейнера, а следовательно, и усилие на преодоление трения, минимально. Это приводит к снижению усилия экструзии по сравнению с прямым выдавливанием на 20–30 % и, как следствие, увеличению стойкости оснастки в 1,3–1,5 раза. Недостатком обратной схемы является сложность конструкции и более низкая стойкость пуансона.

Проблема повышения стойкости прессового инструмента для экструзии может быть принципиально решена путем применения многослойных контейнеров, состоящих из нескольких полых цилиндров, посаженных друг на друга с натягом, что обеспечивает более равномерное распределение нагрузки по сечению.

Целью настоящего исследования являлась разработка методики расчета оптимальных геометрических параметров многослойных контейнеров и выбор материалов для их изготовления.

Методика исследования

Напряжения в цилиндрическом контейнере от давления прессования и натяг, обеспечивающие равнопрочность насаженных друг на друга цилиндров, определяли расчетным методом [2]. Для проведения прочностных расчетов необходимо было определить давление, которое оказывает гранулированная композиция в процессе экструзии на внутренние стенки контейнера, и характер его распределения по длине канала контейнера в зависимости от высоты экструдированного брикета. С этой целью была создана экспериментальная установка, представляющая собой технологическую оснастку для экструзии, позволяющую регистрировать изменения давления в процессе экструзии в канале контейнера. Экспери-

ментальная установка имела геометрические параметры реальной технологической оснастки для экструзии порошковых композиций: диаметр внутреннего отверстия контейнера – 64 мм, наружный диаметр – 170 мм, глубина внутреннего отверстия контейнера – 150 мм, диаметр отверстия матрицы – 16 мм. В канале контейнера были установлены 13 месдоз.

Сигналы месдоз регистрировались осциллографом Н-700-01. Для предотвращения ослабления сечения месдозы, в канале контейнера располагались радиально по винтовой линии, имеющей шаг 120 мм через каждые 30°. Таким образом, месдозы размещались через каждые 10 мм от поверхности матрицы по винтовой линии. В качестве материала контейнера применялась сталь 3Х2В8Ф, а для матрицы и пуансона – сталь Р6М5К5.

Холоднопрессованные брикеты дисперсно-упрочненной гранулированной композиции на основе меди имели диаметр 62 мм и высоту от 20 до 140 мм с интервалом 10 мм. Перед экструзией брикеты нагревались до температуры 750 °С в печи с восстановительной атмосферой, а контейнер, матрица и пуансон – до 350 °С.

Тензодатчики устанавливались на месдозы с помощью фенолоформальдегидного модифицированного клея ВК-18М, имеющего интервал рабочих температур, равный 60–500 °С. Для смазки канала матрицы применялась графито-силиконовая суспензия.

Максимальное давление на стенки контейнера достигало значений 800 МПа. Полученные значения давлений использовали при проведении расчетов на прочность контейнера.

Результаты исследования и их обсуждение

Прочность цилиндра, работающего при внутреннем давлении, можно увеличивать только до определенного предела. Исходя из теории наибольших

касательных напряжений известно, что при любом увеличении толщины стенки цилиндра его нельзя изготовить на давление, большее, чем $P = \frac{[\sigma]}{2}$. Распределение

напряжений можно улучшить, разгрузив внутренние слои за счет более интенсивного использования наружных. Для этого необходимо изготовить контейнер составным, надевая на него бандаж с определенным натягом. В этом случае величина допускаемого внутреннего давления может быть значительно повышена.

При посадке одного цилиндра на другой с натягом окружные напряжения σ_τ во внутреннем цилиндре становятся сжимающими, а в наружном – растягивающими. Наличие этих предварительных напряжений облегчает условия работы контейнера при создании внутреннего давления в процессе экструзии. Если такой цилиндр подвергнуть внутреннему давлению, то в нем возникнут дополнительные растягивающие окружные и сжимающие радиальные напряжения. Эти напряжения определяются по формулам Ляме, как и для цельного цилиндра.

Напряжения в материале толсто-стенного цилиндра от внутреннего давления определяются по формулам Ляме [3]:

$$\sigma_\tau = \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \left(1 + \frac{r_2^2}{r^2} \right) \cdot p_1 ;$$

$$\sigma_r = \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \left(1 - \frac{r_2^2}{r^2} \right) \cdot p_1 ,$$

где r_1 – внутренний радиус цилиндра, м; r_2 – внешний радиус цилиндра, м; r – текущее значение радиуса, м; p_1 – внутреннее давление, МПа; σ_τ – окружные напряжения, МПа; σ_r – радиальные напряжения, МПа.

Окружные напряжения от внутреннего давления будут складываться с напряжениями от посадки в наружном цилиндре и вычитаться из них во внутреннем. Таким образом, материал контейнера работает более равномерно. Это распределение на-

пряжений имеет место при работе материала в пределах упругости. Натяг Δ , который обеспечивает условие равнопрочности для двух цилиндров и напряжения во внутреннем цилиндре, можно определить по формулам Гадолина [2]:

$$\Delta = \frac{2P}{E} \cdot \frac{r_2 \cdot r_3^2 \cdot (r_2^2 \cdot r_1^2)}{r_3^2 \cdot (r_2^2 - r_1^2) + r_2^2 \cdot (r_3^2 - r_2^2)} ;$$

$$\sigma_{\text{экв}} = P \cdot \frac{2r_3^2}{r_3^2 - r_1^2} \cdot \left(1 - \frac{1}{\frac{r_3^2}{r_3^2 - r_2^2} + \frac{r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}} \right) ,$$

где r_1 – внутренний радиус первого цилиндра, м; r_2 – внешний радиус первого цилиндра, м; r_3 – внешний радиус второго цилиндра, м; E – модуль упругости, МПа; $\sigma_{\text{экв}}$ – эквивалентные напряжения (разность наибольшего и наименьшего главных напряжений), $\sigma_{\text{экв}} = (\sigma_1 - \sigma_3)$.

Произведем расчет двухслойного контейнера со следующими исходными данными: усилие прессы – 2500 кН; максимальное внутреннее давление в контейнере $P = 800$ МПа; температура нагрева внутреннего цилиндра – 450 °С; внутренний радиус первого цилиндра $r_1 = 0,032$ м; внешний радиус второго цилиндра $r_3 = 0,085$ м; внешний радиус первого цилиндра $r_2 = \sqrt{r_1 \cdot r_3} = \sqrt{0,032 \cdot 0,085} = 0,052$ м; $E^{500} = 18 \cdot 10^4$ МПа (для стали 4Х5МФС) [4].

В качестве допущения примем, что давление внутри контейнера распределяется равномерно. Тогда

$$\sigma_{\text{экв}} = 800 \cdot \frac{2 \cdot 0,085^2}{0,085^2 - 0,032^2} \times \left(1 - \frac{1}{\frac{0,085^2}{0,085^2 - 0,052^2} + \frac{0,052^2}{0,052^2 - 0,032^2}} \right) = 1284 \text{ МПа};$$

$$\Delta = \frac{2 \cdot 800}{18 \cdot 10^4} \cdot [0,052 \cdot 0,085^2 \times \\ \times (0,052^2 \cdot 0,032^2)] / [0,085^2 \times \\ \times (0,052^2 - 0,032^2) + 0,052^2 \times \\ \times (0,085^2 - 0,052^2)] = 21,9 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Если принять, что материал контей-

нера в процессе экструзии может нагреваться до температуры 500 °С, то натяг должен составлять $21,9 \cdot 10^{-5}$ м.

Механические свойства наиболее подходящих марок сталей и режимы термообработки, необходимые для достижения заданных свойств, приведены в табл. 1–3 [5].

Табл. 1. Влияние режимов термообработки на пределы текучести при нагреве сталей 4Х5МФС и 3Х3М3Ф

Марка стали	Режим заковки, °С	Режим отпуска, °С	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{0,2/500}$, МПа ($\sigma_{0,2/600}$)
4Х5МФС	1040 (30 мин, масло)	580 (2 ч)	1870	1620
		610 (2 ч)	1500	1040
		640 (2 ч)	1250	760
3Х3М3Ф	1040 (30 мин, масло)	580 (2 ч)	1230	1070
		610 (2 ч)	1400	1010
		640 (2 ч)	1220	820
3Х3М3Ф	1040 (120 мин, соляная ванна)	600 (3 ч)	1510	1270 / (1060)
		630 (3 ч)	1450	1170 / (1000)
3Х3М3Ф	1040 (120 мин, воздух)	600 (3 ч)	1450	1250 / (1020)
		630 (3 ч)	1420	1050 / (900)

Табл. 2. Влияние режимов термической обработки на механические свойства штамповой стали 4Х5В4ФСМ (ЭИ 956)

Заковка		Охлаждающая среда	Режим отпуска		Механические свойства		
t, °С	t, мин		t, °С	t, ч	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{\text{в}}$	* $\sigma_{0,2/500}$
1020	30	Масло	640	3	1180	1380	790
			640	6	980	1200	650
1040	120	Соляная ванна	600	3	1570	1880	1330/1040
	120		630	3	1410	1660	1160/930
	120	Воздух	630	3	1480	1710	1150
1070	30	Соляная ванна	600	3	1720	2020	1410
			630	3	1570	1780	1230
1070	120	Масло	600	3	1470	1730	1201
	120		600	3	1770	2070	1440
	120	Соляная ванна	630	3	1600	1830	1330/1030
			600	3	1680	1970	1380
120	Воздух	630	3	1550	1730	1250/970	
1080	30	Масло	580	3	1700	–	–
			610	2	1520	1780	1800
			640	2	1440	1400	860
			640	6	1070	1260	710

Примечание. * В знаменателе приведены значения предела текучести, измеренные при температуре 600 °С.

Табл. 3. Влияние режимов термической обработки на механические свойства штамповой стали для горячего деформирования 3Х2В8Ф

Закалка			Режим отпуска		При растяжении, МПа				КСУ*, Дж/см ²
t, °C	τ, мин	Охлаждающая среда	t, °C	τ, ч	σ _{0,02}	σ _{0,2}	σ _в	σ _{0,2/500} **	
1120	30	Масло	630	3	1170	1320	1510	$\frac{1160}{890}$	$\frac{650}{960}$
1120	30	Соляная ванна	630	3	1180	1350	1650	$\frac{1200}{1040}$	$\frac{560}{950}$
			650	3				$\frac{1150}{990}$	
1120	30	Воздух 420 °C (на бейнит)	630	3	1120	1300	1610	$\frac{1200}{950}$	490
			1230	1440	1590	$\frac{1150}{1150}$	230		
1120	120	Масло	630	3	1410	1520	1660	$\frac{1170}{950}$	570
1120	120	Соляная ванна	630	3	1100	1360	1660	$\frac{1250}{1020}$	530
			650	3	–	–	–	$\frac{1210}{1210}$	
1120	120	Воздух	630	3	1030	1340	1650	$\frac{1240}{970}$	270

Примечание. * В числителе данные, относящиеся к качественным сталям, в знаменателе – к сталям, полученным электрошлаковым переплавом.

** В знаменателе приведены значения предела текучести, измеренные при температуре 600 °C.

Поскольку значения $\sigma_{экр}$ не превышают предел текучести при температуре 500 °C для сталей указанных марок, то дальнейшие прочностные расчеты за пределами упругости можно не производить.

В связи с тем, что в случае экструзии дисперсно-упрочненных материалов на основе никеля и железа локальный нагрев материала контейнера происходит до температур, достигающих 600 °C и выше, приходится производить расчеты и для трехслойных контейнеров.

В этом случае формулы Гадолина после соответствующих преобразований приобретают следующий вид:

$$\sigma_{экр 1} = \frac{P_B \cdot (r_4^2 + r_1^2)}{r_4^2 - r_1^2} - \frac{2P_2 \cdot r_2^2}{r_2^2 - r_1^2};$$

$$\sigma_{экр 2} = \frac{P_B \cdot r_1^2 \cdot (r_4^2 + r_2^2)}{(r_4^2 - r_1^2) \cdot r_2^2} + \frac{P_2 \cdot (r_3^2 + r_2^2)}{r_3^2 - r_2^2} - \frac{2P_3 \cdot r_3^2}{r_3^2 - r_2^2};$$

$$\sigma_{экр 3} = \frac{P_B \cdot r_1^2 \cdot (r_4^2 + r_3^2)}{(r_4^2 - r_1^2) \cdot r_3^2} + \frac{P_3 \cdot (r_4^2 + r_3^2)}{r_4^2 - r_3^2};$$

$$\Delta_2 = \frac{4r_2}{E \cdot (r_3^2 - r_2^2)} \cdot \left(P_2 \cdot r_2^2 \cdot \frac{r_3^2 - r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} - P_3 \cdot r_3^2 \right);$$

$$\Delta_3 = \frac{4r_3}{E \cdot (r_3^2 - r_2^2)} \cdot \left(P_3 \cdot r_3^2 \cdot \frac{r_4^2 - r_2^2}{r_4^2 - r_3^2} - P_2 \cdot r_2^2 \right),$$

где r_1 – внутренний радиус первого цилиндра, м; r_2 – внешний радиус первого цилиндра, м; r_3 – внешний радиус второго цилиндра, м; r_4 – внешний радиус третьего цилиндра, м; P_B – внутреннее давление, МПа; P_2 – давление от натяга во втором цилиндре, МПа; P_3 – давление от натяга в третьем цилиндре, МПа; Δ_2 – натяг второго цилиндра, м; Δ_3 – натяг третьего цилиндра, м.

Произведем расчет трехслойного контейнера со следующими исходными

данными: максимальное внутреннее давление $P = 800$ МПа; температура нагрева внутреннего цилиндра – $500\text{--}600$ °С; внутренний радиус первого цилиндра $r_1 = 0,032$ м; внешний радиус первого цилиндра $r_2 = 0,042$ м; внешний радиус второго цилиндра $r_3 = 0,057$ м; внешний радиус третьего цилиндра $r_3 = 0,085$ м; $E^{500} = 18,7 \cdot 10^4$ МПа; $E^{600} = 17,7 \cdot 10^4$ МПа (для стали 3Х2В8Ф); $E^{500} = 18 \cdot 10^4$ МПа; $E^{600} = 16 \cdot 10^4$ МПа (для стали 4Х5МФС) [6]. В качестве допущения примем, что давление внутри контейнера распределяется равномерно.

Тогда

$$\sigma_{\text{экв} 1} = \frac{800 \cdot (0,085^2 + 0,032^2)}{0,085^2 - 0,032^2} - \frac{2P_2 \cdot 0,042^2}{0,042^2 - 0,032^2} = 1064 - 4,76 \cdot P_2;$$

$$\sigma_{\text{экв} 2} = \frac{800 \cdot 0,032^2 \cdot (0,085^2 + 0,042^2)}{(0,085^2 - 0,032^2) \cdot 0,042^2} + \frac{P_2 \cdot (0,057^2 + 0,042^2)}{0,057^2 - 0,042^2} - \frac{2P_3 \cdot 0,057^2}{0,057^2 - 0,042^2} = 673 + 3,4P_2 - 4,33P_3;$$

$$\sigma_{\text{экв} 3} = \frac{800 \cdot 0,032^2 \cdot (0,085^2 + 0,057^2)}{(0,085^2 - 0,032^2) \cdot 0,057^2} + \frac{P_3 \cdot (0,085^2 + 0,057^2)}{0,085^2 - 0,057^2} = 426 + 2,61P_3.$$

Исходя из условия равнопрочности трех цилиндров $\sigma_{\text{экв} 1} = \sigma_{\text{экв} 2} = \sigma_{\text{экв} 3}$, можно записать систему из двух уравнений

$$1064 - 4,76P_2 = 673 + 3,4P_2 - 4,33P_3;$$

$$426 + 2,61P_3 = 1064 - 4,76P_2,$$

откуда

$$P_2 = 90 \text{ МПа}, \quad P_3 = 80 \text{ МПа}.$$

Тогда

$$\sigma_{\text{экв} 1} = \sigma_{\text{экв} 2} = \sigma_{\text{экв} 3} = 1061 - 4,76P_2 = 1061 - 4,76 \cdot 90 = 635 \text{ МПа}.$$

Исходя из результатов произведенных расчетов и данных табл. 1, видно, что в качестве материала для изготовления трехслойного контейнера возможно применение недорогих и недефицитных сталей типа 4Х5МФС, 4Х4ВМФС, 3Х3МЗФ, 3Х2Н2МВФ, 4Х3ВМФ.

Произведем расчет натягов, которые обеспечивают условие равнопрочности для трех цилиндров.

$$\Delta_2 = \frac{4 \cdot 0,042}{16 \cdot 10^4 \cdot (0,057^2 - 0,042^2)} \times \left(90 \cdot 0,042^2 \cdot \frac{0,057^2 - 0,032^2}{0,042^2 - 0,032^2} - 80 \cdot 0,057^2 \right) = 15,4 \cdot 10^{-5} \text{ м};$$

$$\Delta_3 = \frac{4 \cdot 0,057}{16 \cdot 10^4 \cdot (0,057^2 - 0,042^2)} \times \left(80 \cdot 0,057^2 \cdot \frac{0,085^2 - 0,042^2}{0,085^2 - 0,057^2} - 90 \cdot 0,042^2 \right) = 19,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}.$$

При производстве прутков с большей площадью поперечного сечения возникает необходимость применения прессового оборудования с большим усилием, что, в свою очередь, вызывает увеличение действующих в контейнере напряжений.

Произведем расчет двухслойного контейнера для экструзии на прессе усилием 4000 КН со следующими исходными данными: максимальное внутреннее давление в контейнере $P = 800$ МПа; температура нагрева внутреннего цилиндра – 500 °С; внутренний радиус первого цилиндра $r_1 = 0,04$ м; внешний радиус второго цилиндра $r_3 = 0,11$ м; внешний радиус первого цилиндра $r_2 = \sqrt{r_1 \cdot r_3} = \sqrt{0,04 \cdot 0,11} = 0,066$ м; $E^{500} = 18,7 \cdot 10^4$ МПа; $E^{600} = 17,7 \cdot 10^4$ МПа (для стали типа 3Х2В8Ф, 4Х5В4ФСМ) [6]:

$$\sigma_{\text{экв}} = 800 \cdot \frac{2 \cdot 0,11^2}{0,11^2 - 0,04^2} \times \left(1 - \frac{1}{\frac{0,11^2}{0,11^2 - 0,066^2} + \frac{0,066^2}{0,066^2 - 0,04^2}} \right) = 1252 \text{ МПа};$$

Исходя из результата произведенного расчета и данных табл. 3 видно, что в качестве материала для изготовления двухслойного контейнера возможно применение штамповой стали 3Х2В8Ф при условии, что температура нагрева поверхности канала не будет превышать 500 °С.

В случае экструзии дисперсно-упрочненных сплавов интервалы времени между операциями должны быть не менее 5 мин, в противном случае возникает пластическая деформация контейнера и матрицы.

Необходимый натяг составляет

$$\Delta = \frac{2 \cdot 800}{18,7 \cdot 10^4} \times [0,066 \cdot 0,11^2 \cdot (0,066^2 \cdot 0,04^2)] / [0,11^2 \cdot (0,066^2 - 0,04^2) + 0,066^2 \cdot (0,11^2 - 0,066^2)] = 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ м};$$

При необходимости повышения интенсивности процесса экструзии для изготовления контейнеров приходится выбирать более дефицитные и дорогостоящие стали 2Х14М5К13, 05Х5М8К11, 2Х12В8К10, увеличивать габаритные размеры оснастки или изготавливать трехслойные контейнеры из сталей типа 3Х2В8Ф.

Данные расчеты явились базой для проведения конструкторских работ, на основании которых были спроектированы и изготовлены многослойные контейнеры для горячей экструзии дисперсно-упрочненных материалов на основе различных металлов. Значения стойкости одно- и многослойных контейнеров, изготовленных из стали 3Х2В8Ф, приведены в табл. 4.

Табл. 4. Стойкость одно- и многослойных контейнеров при экструзии дисперсно-упрочненных композиций на основе различных металлов

Дисперсно-упрочненная композиция на основе	Температура подогрева контейнера, °С	Температура нагрева брикетов, °С	Стойкость, число циклов		
			Однослойный	Двухслойный	Трехслойный
Fe	550	1050–1100	35–40	200–280	350–400
Ni	550	1100–1150	15–20	100–200	150–200
Cu	450	800	100–200	700–1400	2000–2400

Заключение

Контейнеры для горячего прессования с большими степенями обжатия дисперсно-упрочненных гранулированных композиций на основе металлов работают в жестких температурно-силовых условиях, что обуславливает их низкую стойкость.

Проблема повышения стойкости прессового инструмента для экструзии может быть принципиально решена пу-

тем применения многослойных контейнеров, состоящих из нескольких полых цилиндров, посаженных друг на друга с натягом, что обеспечивает более равномерное распределение нагрузки по сечению.

Расчет натяга осуществляется исходя из равнопрочности насаженных друг на друга цилиндров с использованием формул Ляме и Гадолина.

Применение многослойных контейнеров позволяет повысить срок службы инструмента для горячего прессования в 7–12 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ловшенко, Г. Ф.** Теоретические и технологические аспекты создания наноструктурных механически легированных материалов на основе металлов / Г. Ф. Ловшенко, Ф. Г. Ловшенко. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2005. – 276 с.

2. Сопротивление материалов / Под ред. В. И. Писаренко. – Киев : Вища шк., 1986. – 512 с.

3. **Беляев, Н. М.** Сопротивление материалов / Н. М. Беляев. – М. : Наука, 1976. – 617 с.

4. Термическая обработка в машиностроении: справочник / Под ред. Ю. М. Лахтина, А. Г. Рахштадта. – М. : Машиностроение, 1980. – 783с.

5. **Артингер, И.** Инструментальные стали и их термическая обработка : справочник : пер. с венгер. / И. Артингер. – М. : Metallurgia, 1982. – 312 с.

6. Стали и сплавы. Марочник / В. Г. Сорокин [и др.] ; науч. ред. В. Г. Сорокин, М. А. Гервасьев. – М. : Интермет Инжиниринг, 2001. – 608 с.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 05.10.2007

G. F. Lovshenko, F. G. Lovshenko, A. I. Habibullin
Calculation of multy-layer containers for extrusion of mechanically alloyed dispersed and strengthened granulated composites based on metals
Belarusian-Russian University

A brief analysis of the problems appearing at extrusion of mechanically alloyed dispersed and strengthened granulated composites based on metals has been given in the paper. The method of choosing the most appropriate material for container production, ways of thermal treatment and method of calculation of optimum geometrical parameters of 2- and 3-layer containers have been suggested. Use of multy-layer containers for extrusion of dispersed and strengthened compositional materials based on copper allowed to decrease the stress and increase the firmness of technological means.