

Сапченко И. Г., Жилин С. Г., Комаров О. Н.

**ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧНОСТИ ПОЛИМЕРНОГО ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ПРЕССОВАНИИ
УДАЛЯЕМЫХ МОДЕЛЕЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ИХ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ**

Сапченко И. Г., Жилин С. Г., Комаров О. Н.

I. G. Sapchenko, S. G. Zhilin, O. N. Komarov

**ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧНОСТИ ПОЛИМЕРНОГО ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА
ПРИ ПРЕССОВАНИИ УДАЛЯЕМЫХ МОДЕЛЕЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ
ИХ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ**

**EFFECTS OF THE PLASTICITY OF POLYMER POWDER MATERIALS ON THE
FORMATION OF STRESS-STRAIN STATES, DURING PRES-FORMING OF CONSUM-
ABLE PATTERNS**

Сапченко Игорь Георгиевич – доктор технических наук, доцент, ученый секретарь Института машиноведения и металлургии ДВО РАН (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: mail@imim.ru

Mr. Igor G. Sapchenko – Doctor of Engineering, Associate Professor, Academic Secretary of the Institute for Machine Engineering and Metallurgy, the Far-Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Russia, city of Komsomolsk-on-Amur. E-mail: mail@imim.ru

Жилин Сергей Геннадьевич – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник Института машиноведения и металлургии ДВО РАН (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: zhilin@imim.ru

Mr. Sergey G. Zhilin – PhD in Engineering, Senior Research Fellow, of the Institute for Machine Engineering and Metallurgy, the Far-Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Russia, city of Komsomolsk-on-Amur. E-mail: zhilin@imim.ru

Комаров Олег Николаевич – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник Института машиноведения и металлургии ДВО РАН (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: olegnikolaevitsch@rambler.ru

Mr. Oleg N. Komarov – PhD in Engineering, Senior Research Fellow of the Institute for Machine Engineering and Metallurgy, the Far-Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Russia, city of Komsomolsk-on-Amur. E-mail: olegnikolaevitsch@rambler.ru

Аннотация. При формировании пористых моделей прессованием полимерных порошков происходит перемещение частиц. При этом образуются области неравномерного уплотнения, обладающие различным упругим последствием, что ведет к неудовлетворительной размерно-геометрической точности моделей. В работе представлены результаты исследования влияния фракции полимерного порошка и технологических параметров получения прессовок из него на свойства моделей.

Summary. During the process of forming porous patterns by cold-pressing of a polymer powder, particles of the powder are moving and melting into frictional surfaces. This results in the emergence of areas of non-uniform densification with different elastic after-effects, which leads to poor dimension/geometric accuracy of the patterns. The paper presents the results of an investigation of the effects the properties of a polymer powder and the process parameters of pressing have on the accuracy of patterns.

Ключевые слова: полимер, порошок, пористость, модель, напряженно-деформированное состояние, точность отливок.

Key words: polymer, powder, porosity, pattern, stress-strain state, casting precision.

Работа выполнена при поддержке средств гранта ДВО РАН 11-III-B-03-041 «Исследование влияния пластичности полимерного порошкового материала на формирование напряженно-деформированного состояния прессовок».

УДК 621.74.045



В литье по выплавляемым моделям (ЛВМ) опробованы сотни модельных составов, лишь незначительная часть из которых соответствует требованиям и свойствам, удовлетворяющим промышленные предприятия в полной мере [1; 2].

Широко используемые в ЛВМ парафиностеариновые составы (ПС 50/50, ПС 70/30, П65С32Км3, П70С25Э5) обладают требуемыми реологическими свойствами в пастообразном состоянии, теплоустойчивостью и прочностными свойствами. Однако применение этих составов при изготовлении моделей приводит к образованию таких видов брака, как усадка и коробление. Применение моделей сопровождается растрескиванием оболочковых форм при их удалении.

Проведенным анализом эксплуатационных и технологических свойств восковых удаляемых моделей установлено, что на стадиях получения и использования керамических оболочек предпочтительно использование пористых моделей, имеющих наименьший коэффициент термического расширения (КТР), т.к. процесс удаления не приводит к увеличению их объемов. Таким образом, применение нестандартных вариантов образования пор в теле восковой модели, способов ее изготовления и удаления, которое позволит устранить практически все виды брака, образуемые моделью, представляется актуальным.

Пористость в полимерной модели (ППМ) образуется в результате запрессовки порошка модельной массы в полость пресс-формы [4]. Прессование воскообразной фракции порошка представляет собой процесс деформирования его замкнутого объема (при этом могут использоваться как одно- так и многокомпонентные порошки), при котором начальный объем смеси сокращается и происходит формирование прессовки (воскообразной удаляемой модели) требуемой формы с заданными размерами и свойствами. Объем смеси воскового порошка, помещенной в формообразующую полость пресс-формы, при смыкании пуансонов сокращается ввиду деформирования и смещения воскообразных частиц порошка, которые распределяются в пустотах между частицами [5].

Идеализированная кривая уплотнения, выражающая зависимость плотности прессовки от давления прессования, характеризуется тремя основными участками, представленными на рис. 1, *а*. Наибольшая динамика изменения плотности порошка прессовки наблюдается на первой стадии уплотнения. На этот процесс влияет перемещение частиц порошка под действием приложенной внешней нагрузки. Порошковые частицы на первой стадии уплотнения распределяются по пустотам тела прессовки достаточно свободно, причем поверхности частиц, близко расположенных друг к другу, не испытывают значительного взаимного трения. Другие частицы могут перемещаться не так интенсивно ввиду высокого взаимного трения поверхностей частиц уплотняемого порошкового тела.

Уплотнение на первой стадии (позиция I, см. рис. 1, *а*) осуществляется по причине перераспределения воскообразных частиц, которое происходит в результате разрушения «арок». На этой стадии происходит структурная деформация уплотняемого порошкового тела. Существенную роль в этот момент играет упругая разгрузка ряда контактов частиц, которая соответствует началу уплотнения воскообразного порошка. Так как происходит разгрузка некоторых контактов частиц в уплотняемом порошковом теле, сокращаются межчастичная сила сцепления и площади их контактов, а значит, наблюдается рост напряжений в зоне контактов частиц, в результате взаимное смещение расположенных рядом частиц становится легче и в зонах остаточных контактов происходит пластическая деформация, способствующая ускорению роста плотности прессовки.

Следующий этап уплотнения порошкового тела (позиция II, см. рис. 1, *а*) характеризуется ростом давления прессования ввиду сопротивления сжатию максимально плотно упакованных частиц. При этом плотность прессовки некоторое время остается постоянной. Ввиду наличия силы упругой деформации в теле прессовки местная разгрузка контактов частиц на уплотнение влияет незначительно, а пластическая деформация в зоне контактов частиц порошка локализована.

Последняя стадия характеризуется превышением сопротивления сжатию уплотняемых частиц (давлению прессования), и проявляется пластическое деформирование уплотня-

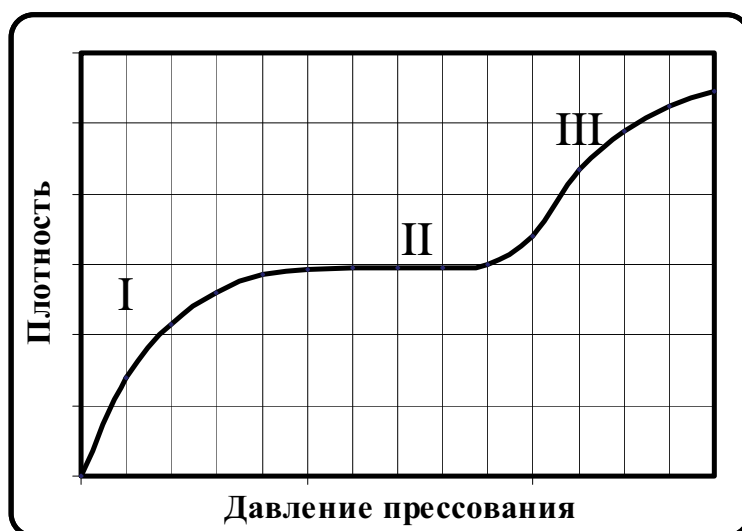
Сапченко И. Г., Жилин С. Г., Комаров О. Н.

ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧНОСТИ ПОЛИМЕРНОГО ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ПРЕССОВАНИИ УДАЛЯЕМЫХ МОДЕЛЕЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ИХ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

емых частиц порошкового тела (позиция III, см. рис. 1, а). На этой стадии деформация является пластической и затрагивает объем каждой частицы всего порошкового тела, при котором взаимное смещение контактов между частицами прекращается.

На практике в процессе прессования порошков (как одно- так и многокомпонентных) наблюдается одновременное прохождение указанных выше стадий прессования порошков [6]. Поэтому реально наблюдаемая кривая, характеризующая процесс уплотнения воскообразного пластичного порошка, равномерна. На этой кривой горизонтальные участки, характерные для идеализированного случая, почти отсутствуют (см. рис. 1, б). При сравнительно невысоких давлениях прессования на практике могут наблюдаться деформации отдельных частиц воскообразного порошка (например, ПС 50/50), равно как и взаимное поверхностное скольжение ряда частиц при высоком уплотняющем давлении. Для увеличения плотности порошкового тела наиболее значимой является первая стадия уплотнения, при которой происходит взаимное перемещение частиц порошка. При этом чем материал пластичнее, тем меньшее давление требуется для деформации частиц. Для материалов с повышенным пределом текучести характерно наличие резкого разграничения начальной и конечной стадий уплотнения. Установлено, что при прессовании энергия затрачивается на преодоление межчастичного и внешнего трения, а также на деформацию полимерных частиц. Внешнее трение в данном случае возникает между частицами и поверхностью пресс-формы или пуансонами.

а)



б)

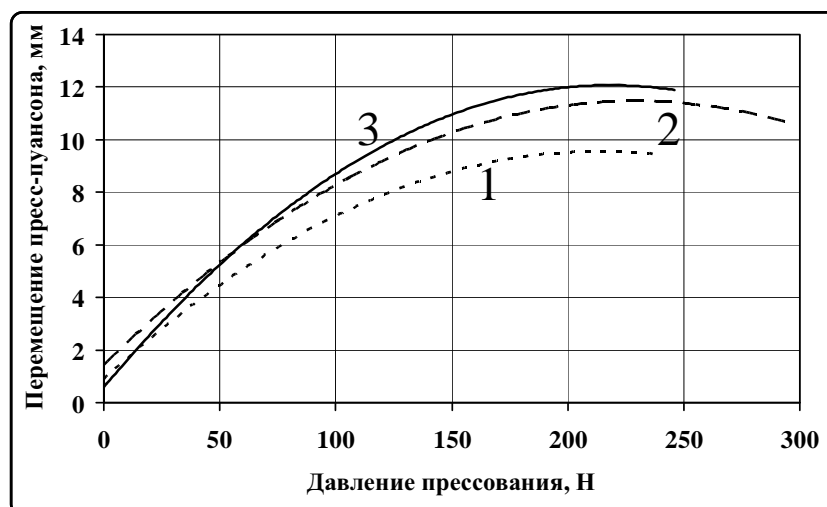


Рис. 1. Кривая уплотнения, выражающая зависимость плотности прессовки от давления прессования: а – идеализированная кривая уплотнения; б – стадии процесса уплотнения реального однокомпонентного ПМС:

1 – ПМС фракции 1,6 мм; 2 – ПМС фракции 1,0 мм; 3 – ПМС фракции 0,63 мм

При осуществлении процесса уплотнения порошка значительной задачей является получение ППМ с равномерно распределенными физико-химическими и механическими свойствами.

При изготовлении удаляемых моделей из порошков, в состав которых входит два и более компонентов, отличающихся по фракционному составу, требуется учет их напряженно-деформированного состояния (НДС), которое выражается в неравномерности распределения свойств в пористых удаляемых моделях. Отсутствие равномерности распределения плотностей в прессовках ведет, как правило, к изменению размеров и форм, которое проявляется ввиду оплавления краев уплотняемых частиц и вызывает негативные изменения свойств прессованного порошкового тела [3; 5].

Упаковка частиц на поверхности пористой модели зависит от материала фракции однокомпонентного порошкового модельного состава (ПМС) и определяется поверхностной твердостью, которая, в свою очередь, позволяет выдерживать требуемые размерно-геометрические параметры прессовки. На рис. 2 представлены зависимости изменения твердости поверхности ППМ, полученных из различных фракций ПМС, от пористости.

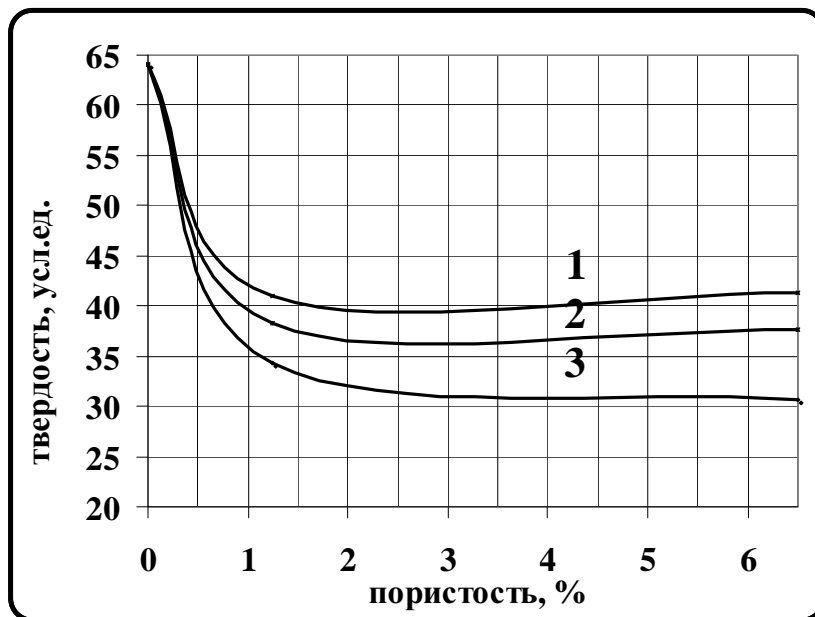


Рис. 2. Зависимость изменения твердости поверхности ППМ, полученных из различных фракций ПМС, от пористости: 1 – ПМС фракции 1,6 мм; 2 – ПМС фракции 1,0 мм; 3 – ПМС фракции 0,63 мм

Из рис. 2. видно, что прессовки, полученные из ПМС меньшей фракции, обладают меньшей поверхностной твердостью. Поверхностная твердость в данном случае определялась стандартным игольчатым твердомером типа 2033 ТИР с размерностью измеряемых значений, выраженной в условных единицах.

Трение между частицами влияет на поверхностную твердость удаляемых пористых моделей, но не является причиной неравномерного распределения значений плотности.

На рис. 3 показано изменение плотности по высоте прессовки при одностороннем прессовании порошка модельного состава фракции 1,0 мм, который соответствует по хими-

Сапченко И. Г., Жилин С. Г., Комаров О. Н.

ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧНОСТИ ПОЛИМЕРНОГО ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ПРЕССОВАНИИ УДАЛЯЕМЫХ МОДЕЛЕЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ИХ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

ческому составу модельным материалам 1 группы классификации полимерных составов (ПС 50/50), предложенной В. А. Озеровым [1].

Под односторонним прессованием полимерного порошка понимают его уплотнение, при котором усилие прикладывается к порошковому телу только с одной стороны. При одностороннем прессовании в зависимости от давления более плотными могут оказаться верхняя и нижняя части прессовки, тогда как в ее середине наблюдается зона пониженной плотности, называемая нейтральной [1; 4; 5], и наоборот.

При уплотнении однородных по размерам частиц и химическому составу полимерных пластичных порошков величина пористости находится в зависимости от фракции полимерного порошка и прессующего усилия [1; 3].

Предварительным экспериментом определена способность фракции порошка полимерного модельного состава сохранять форму после прессования. Установлено, что в субстанции, изготовленной таким способом, распределение свойств неравномерное, напряжения повышенные, а структура пористая. Выявлено, что полимерные многокомпонентные модели, изготовленные из порошков модельных композиций, также отличаются пористостью структур.

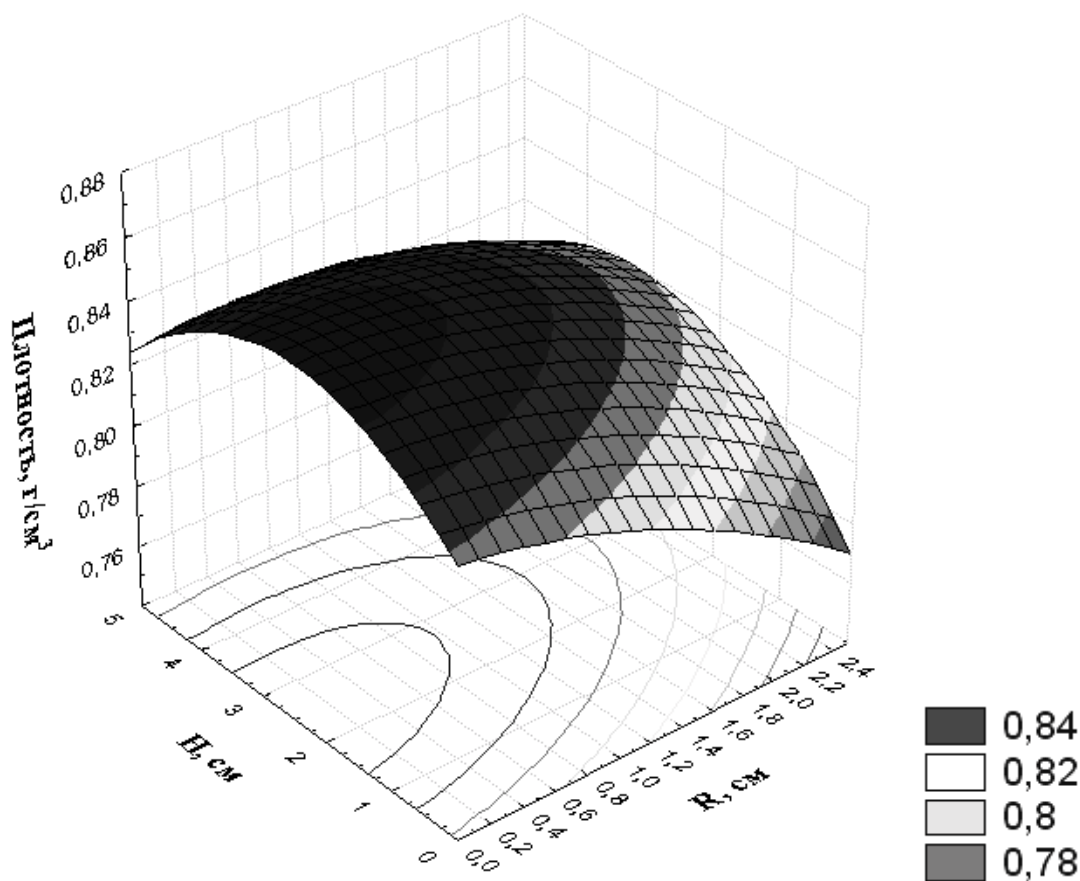


Рис. 3. Изменение плотности по высоте прессовки при одностороннем прессовании порошка фракции 1,0 мм и по сечению

На конечную плотность ППМ в большей мере влияют плотности компонентов исходной деформируемой смеси, чем усилие ее деформации. Для получения полимерных моделей с повышенной плотностью необходимо использовать мелкую фракцию ПМС. Предопределяемая заранее величина плотности при известных давлениях уплотнения смеси достигается при использовании материалов равной фракции.

На конечную плотность ППМ также оказывают значительное влияние деформационные процессы, протекающие в структуре прессовки при уплотнении. В зависимости от сте-

пени деформационного сжатия в связке ППМ возникают упругие деформации, стремящиеся к релаксации при снятии нагружения.

Исследование влияния степени деформационного сжатия или пористости материала связки в ППМ на упругое релаксационное последствие (см. рис. 4) выявило закономерность: наибольшей степени деформации при уплотнении ППМ, т.е. наименьшей пористости воскообразного связующего материала, соответствует самое значительное упругое последствие. Напряжения, возникающие после окончательной стадии прессования полимерного порошка, снижаются в результате релаксации упругим последствием, что ведет к увеличению объема после разгрузки ППМ, понижая ее плотность.

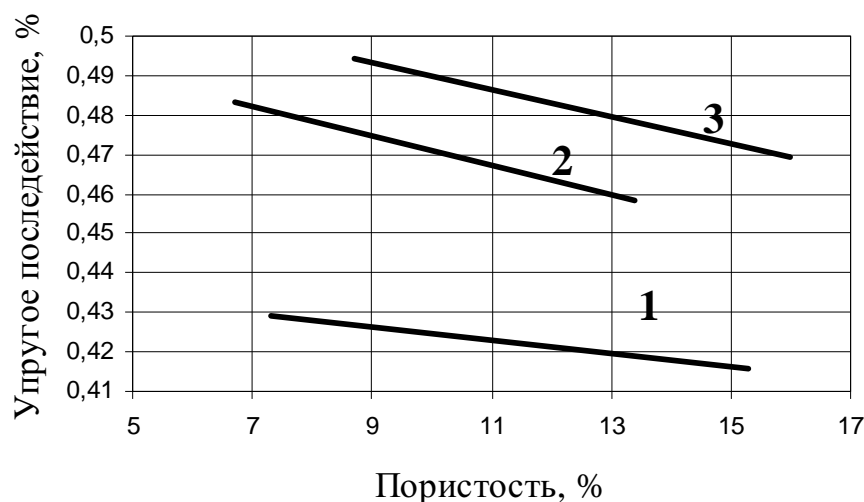


Рис. 4. Зависимость упругого последствия от пористости материала связки ППМ фракции: 1 – 0,63 мм; 2 – 1,0 мм; 3 – 1,6 мм

Влияние фракционности связующего воскообразного материала на значение упругого последствия обусловлено величиной абсолютной его деформации, которая компенсируется пористостью и плотностью материала, распределенной в объеме ППМ. При адекватной степени сжатия объема ППМ крупной фракции материала соответствуют большие упругие деформации, кратные размерам гранул. Отмеченный механизм упругого последствия оказывает влияние и на остальные физико-механические свойства ППМ.

Таким образом, экспериментально установлено следующее:

- распределение плотности в структуре ППМ при одностороннем прессовании однокомпонентного порошка ПМС соответствует распределению плотности, адекватному двустороннему приложению прессующего усилия;
- прессовки, полученные из ПМС большей фракции, обладают большей поверхностной твердостью;
- на конечную плотность ППМ наибольшее влияние имеют значения плотности компонентов исходной деформируемой смеси, а не давление, приводящее к деформации этой смеси;
- при равной степени сжатия объема ППМ крупной фракции материала соответствуют большие упругие деформации, кратные размерам гранул, что оказывает влияние на НДС прессовки и, следовательно, на остальные физико-механические свойства ППМ.

Сапченко И. Г., Жилин С. Г., Комаров О. Н.

**ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧНОСТИ ПОЛИМЕРНОГО ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ПРЕССОВАНИИ
УДАЛЯЕМЫХ МОДЕЛЕЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ИХ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ**

ЛИТЕРАТУРА

1. Сапченко, И. Г. Управление структурой и свойствами пористых комбинированных удаляемых моделей / И. Г. Сапченко, С. Г. Жилин, О. Н. Комаров. – Владивосток: Дальнаука, 2007. – 138 с.
2. Напряженно-деформированное состояние оболочковых форм в литье по выплавляемым моделям / И. Г. Сапченко, С. А. Некрасов, С. Г. Жилин, М. В. Штерн. – Комсомольск-на-Амуре: ИМиМ ДВО РАН, 2005. – 156 с.
3. Сапченко, И. Г. Усовершенствование технологии получения точных металлоизделий в литье по выплавляемым моделям / И. Г. Сапченко, С. Г. Жилин, О. Н. Комаров // Заготовительные производства в машиностроении. – 2009. – № 4. – С. 9-12.
4. Сапченко, И. Г. Особенности проектирования пресс-форм в литье по выплавляемым моделям / И. Г. Сапченко, С. Г. Жилин, О. Н. Комаров // Литье и металлургия Белоруссии. – 2007. – № 1. – С. 93-95.
5. Математическое моделирование процессов получения полимерных моделей / И. Г. Сапченко, С. Г. Жилин, О. Н. Комаров, М. В. Штерн // Литейное производство. – 2006. – № 1. – С. 31-32.
6. Салина, М. В. Влияние вакуумирования на физико-механические свойства и размерную точность выплавляемых моделей и отливок в литье по выплавляемым моделям / М. В. Салина, А. И. Евстигнеев // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре гос. техн. университета. Науки о природе и технике. – 2011. – № I-1(5). – С. 55-60.