

prod.info

Термоформование, Вакуумное формование ,
Tiefziehen, Тепловое формование, Гибка

Stand: Januar 2008



Anwendungstechnische Beratung

Applied technical advice

Communication d'informations techniques d'utilisation

Unsere anwendungstechnische Beratung erfolgt nach bestem Wissen und basiert auf Ihren Angaben sowie dem uns bekannten Stand der Technik. Die Beratung stellt keine Zusicherung von bestimmten Eigenschaften dar und begründet kein selbstständiges vertragliches Rechtsverhältnis.

Wir haften nur für Vorsatz oder grobe Fahrlässigkeit. Unsere Angaben entbinden Sie nicht von der Pflicht der eigenen Prüfung.

Änderungen aufgrund neuer Erkenntnisse und Bewertungen bleiben vorbehalten.

Our applied technical advice is given according to our best knowledge to assist in the use of our products. It is based upon your data and our knowledge of the general status of technology. The advice offers no guarantee of particular characteristics or qualities and establishes no independent contractual legal relationships.

We are only liable for intent or gross negligence. Our data does not release you from the obligation of your own controls and to ensure suitability for the particular application.

We reserve the right to update information without notice as part of our continuous research and development programme.

Les informations techniques, que nous vous communiquons, concernant l'utilisation de nos produits, résultent de notre large expérience. Elles sont établies selon vos données techniques et d'après le niveau actuel de la Technologie. Ces informations ne peuvent en aucun cas avoir un caractère de garantie au regard des caractéristiques ou qualités particulières, elles n'engendrent pas de relations contractuelles et juridiques.

Notre responsabilité ne peut être mise en cause qu'en cas de reconnaissance d'intention ou de négligence grave. Le fait de communiquer nos informations ne vous délivre pas de votre devoir quant à la réalisation de tests faits par vos soins.

Les informations contenues dans nos catalogues et brochures sont mises à jour au fur et à mesure de l'avancement de notre programme de Recherche et Développement.

Содержание

1	Введение	2
2	Материалы	3
2.1	Аморфные термопласты	3
2.2	Частично кристаллические термопласты	3
3	Свойства материалов	5
3.1	Трещины вследствие внутренних напряжений	5
3.2	Термические свойства	5
3.2.1	Удельная теплоемкость	5
3.2.2	Теплопроводность	6
3.2.3	Температуропроводность	6
3.2.4	Влагопоглощение	7
3.2.5	Трение	7
3.2.6	Сжатие и усадка	7
4	Термоформование	9
4.1	Положительное и отрицательное формование	11
4.2	Инструменты	12
4.3	Подогрев	12
4.4	Нагревание полуфабриката	13
4.4.1	Контактное нагревание	13
4.4.2	Конвекционное нагревание	13
4.4.3	Нагревание излучателем	14
4.5	Ориентация – влияние направления экструзии	15
4.6	Расчет толщины стенки для деталей глубокой вытяжки	16
5	Тепловое формование	18
6	Гибка	20
7	Консультации	21
8	Литература	22

1 Введение

В производственной практике находят применение различные методы формообразования, которые непрерывно совершенствуются по мере накопления практического опыта. Эти методы можно подразделить на термоформование, тепловое формование и гибку. К специальным методам термоформования относится глубокая вытяжка, вакуумное формование и пневматическое формование [1].

Термопласты особенно хорошо подходят в качестве основных материалов или полуфабрикатов для различных методов формообразования, так как при нагревании они переходят в состояние, обладающее эластичностью резины, а затем позволяют легко изменять форму. После охлаждения в форме обрабатываемые детали сохраняют конфигурацию, полученную ими в нагретом состоянии. По сравнению с полуфабрикатом формованное изделие, как правило, обладает большей поверхностью и меньшей толщиной стенок. Это необходимо учитывать при выборе толщины стенки полуфабриката [2].

Для того чтобы придать формованному изделию окончательную конфигурацию, требуется дополнительная контурная обработка или, при необходимости, нанесение отверстий путем механической обработки. В наше время это выполняется главным образом автоматическими системами с ЧПУ, которые программируются геометрией деталей с данными, поступающими прямо из системы CAD.

В специальных применениях термоформование составляет конкуренцию литью под давлением или формованию выдуванием. Преимущество термоформования состоит в применении более дешевых инструментов и установок, а также в использовании разнообразных полуфабрикатов, таких как вспененные полимеры или полуфабрикаты с нанесенной печатью. Еще одно преимущество термоформования

состоит в возможности применения многослойных материалов. Один из методов, все больше завоевывающих в последнее время пространство на рынках, представляет собой технологию Twin-Sheet, с помощью которой можно с высокой рентабельностью изготавливать пустотелые детали.

В конечном счете, все определяется ценой, количеством, формой и качеством метода формообразования. При выборе метода необходимо учитывать свойства материалов или полуфабрикатов. Каждый материал ведет себя иначе в отношении температуры размягчения, обратных показателей, рекристаллизации и теплового расширения.

В данной информации по продуктам вы можете получить общее представление о свойствах термопластичных полуфабрикатов и ряд указаний к процессу формования. Вместе с этим поясняются отдельные технические аспекты.

2 Материалы

В этой информации по продуктам рассматриваются термопласты без наполнения и без усиления. Сюда не входят накладки из термопластов, так как соответствующие материалы уже применяются в системах ниш.

2.1 Аморфные термопласты

Аморфные материалы, такие как PVC-U или PETG, изготовленные без добавок, отличаются высокой прозрачностью.

Практическое применение требует температур ниже точки перехода в стеклообразное состояние T_g – в этой области обеспечивается достаточно высокая прочность и стабильность основы для механической обработки.

Выше границы перехода в стеклообразное состояние T_g механические свойства резко ухудшаются, и материал переходит в область эластичности резины.

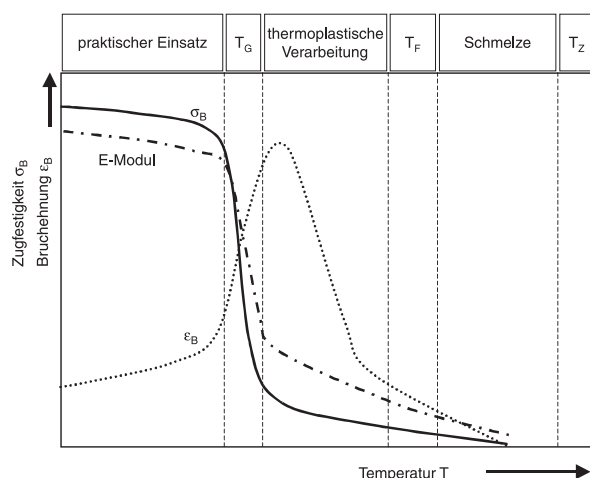


Рис. 1: Схематичное представление механических свойств аморфных термопластов как функции температуры. (T_g = граница перехода в стеклообразное состояние, T_F = температура плавления, T_Z = температура деструкции)

Это можно четко видеть на рис. 1. После наступления размягчения прочность на излом σ_B и модуль упругости существенно уменьшаются, а разрывное удлинение ϵ_B значительно увеличивается. Область эластичности резины характеризуется легкой деформируемостью материала.

При дальнейшем нагревании следует переход в область пластичности (температура плавления T_F), где происходит формование материала, т.е. экструзия, отливка под давлением или штамповка.

Дальнейшее повышение температуры ведет к деструкции термопласта.

2.2 Частично кристаллические термопласты

Частично кристаллические материалы, PE, PP, PVDF, E-CTFE и PFA, как правило, могут быть непрозрачными и вплоть до полностью прозрачного исполнения. Ниже границы перехода в стеклообразное состояние T_g они отличаются очень большой хрупкостью и чувствительностью к ударным нагрузкам (рис. 2).

Ниже температуры T_g частично кристаллические полимеры применяются только при удовлетворении особых условий. Между T_g и температурой области плавления кристаллов ТК разрывное напряжение σ_B и модуль упругости слегка уменьшаются, в то время как удлинение ϵ_B увеличивается. В этой температурной области частично кристаллические материалы могут применяться или обрабатываться в практических условиях.

Выше температуры плавления кристаллов T_K такие механические свойства, как разрывное напряжение σ_B и модуль упругости существенно ухудшаются, а

удлинение ϵ_B увеличивается. В этой температурной области такие материалы проходят фазу перехода от кристаллического к аморфному состоянию, приобретая прозрачность, и достигают области эластичности резины, в которой они легко деформируются.

Если деформация происходит при температуре ниже T_K , то в формованном изделии остаются области с кристаллической структурой, которые локализуются в зонах деформации. При этом в формованной стенке возникают остаточные напряжения, и повторное нагревание ведет к деформации фасонной детали [2].

В результате дальнейшего повышения температуры материал пластифицируется, расплавляется и в результате этого приобретает исходную форму. При последующем повышении температуры вследствие плавления происходит деструкция материала.

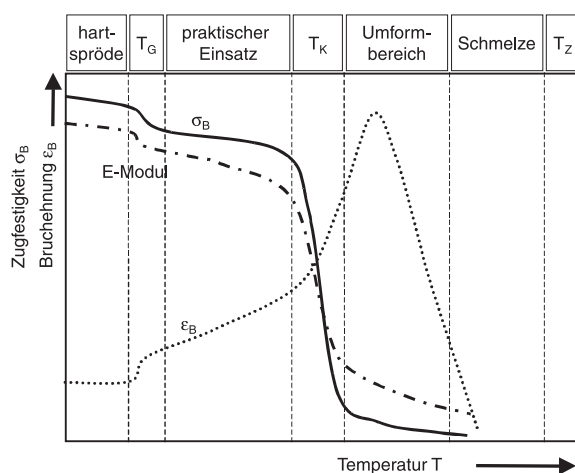


Рис. 2: Схематичное представление механических свойств частично кристаллических термопластов, как функция температуры. (T_G = граница перехода в стеклообразное состояние, T_K = температура плавления кристаллов, T_Z = температура деструкции)

3 Свойства материалов

В условиях применения и при формовании необходимо принимать во внимание различные свойства термопластов. Так термодинамические свойства определяют технологические параметры и конструкции инструментов, а также свойства фасонной детали.

3.1 Трещины вследствие внутренних напряжений

Трещины вследствие внутренних напряжений возникают в термопласте при контакте со особыми химическими веществами, такими как растворители, масла и окисленные среды, и одновременном действии механических нагрузок. Механическая нагрузка может возникать в результате внутренних напряжений, если, к примеру, материал формовался в слишком холодном состоянии. При практическом применении можно также говорить о напряжениях в результате внешних нагрузок (нагрузки типа давления, растяжения, среза). Повышенные внутренние напряжения также возникают, как правило, в сварочных швах. Коррозионное растрескивание вследствие внутренних напряжений можно предупредить, уменьшив напряжения (термообработка) или изменив среду.

3.2 Термические свойства

Термические свойства термопласта сильно влияют на обрабатываемость материала и достижимую частоту обработки. Термические параметры имеют большое значение для выбора режимов нагрева и охлаждения.

3.2.1 Удельная теплоемкость

Удельная теплоемкость C_p является термодинамическим параметром, который определяется, как

количество тепла, необходимое для нагревания материала на 1 К. Теплоемкость C_p можно определить, как изменение энтальпии H (теплосодержания) в зависимости от температуры T . Значения C_p берутся из таблиц или графиков энтальпии (рис. 3):

$$C_p = \frac{\Delta H}{\Delta T}$$

Экспериментальное определение зависящей от температуры теплоемкости производится методом дифференциальной калориметрии (Differential Scanning Calorimetric (DSC)). Согласно этому методу небольшое количество материала (5–30 мг) нагревается контролируемым образом в тигле, и по ходу этого выполняется измерение необходимого теплового потока для этой эталонной пробы.

Значение теплоемкости для аморфных термопластов лежит между 1 и 1,5 кДж/(кг·К), для частично кристаллических термопластов – между 1,5 и 2,7 кДж/(кг·К).

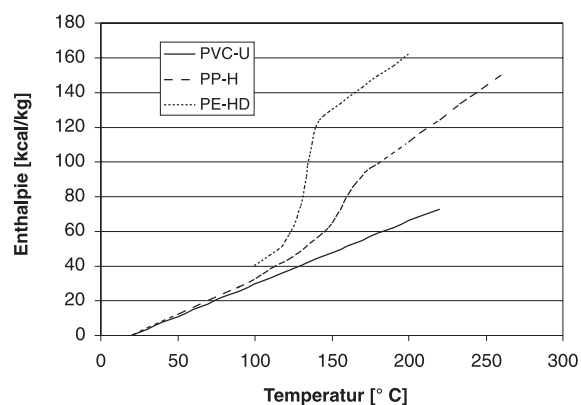


Рис. 3: Графическое представление энтальпии некоторых термопластов.

3.2.2 Теплопроводность

Под теплопроводностью λ понимается передача энергии в тело материала. Удельным значением для этого служит количество тепла, проходящее через сечение 1 м^2 при перепаде температур 1 К на временном интервале, равном 1 часу .

Таким образом, теплопроводность характеризуется количеством энергии, которое может «проходить» в материал в единицу времени.

Теплопроводность аморфных термопластов лежит в диапазоне от $0,1$ до $0,3 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, а для частично кристаллических термопластов – от $0,2$ до $0,6 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$. В определенной степени теплопроводность сильно зависит от температуры и должна быть определена экспериментально. (Дальнейшие значения теплопроводности см. в [2]).

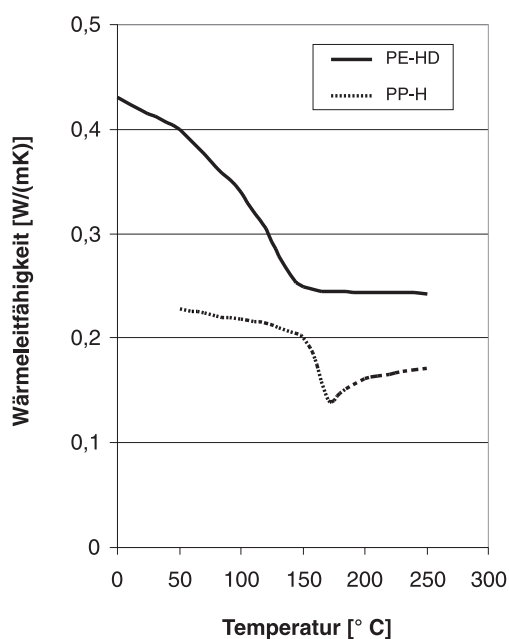


Рис. 4: Теплопроводность некоторых термопластов, как функция температуры.

3.2.3 Temperaturleitfähigkeit

В качестве третьего важного параметра при оценке деформируемости термопластов следует назвать температуропроводность, которая представляет собой меру изменения температуры с течением времени. Этот параметр зависит от теплопроводности λ , плотности ρ и удельной теплоемкости c_p :

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}$$

Для большинства полимеров без заполнения температуропроводность лежит между $0,05$ и $0,25 \text{ мм}^2/\text{сек}$. Температуропроводность определяет прогревание термопластичной панели в результате воздействия внешнего тепла через излучение или в результате непосредственного контакта. При непосредственном контакте имеет значение показатель прогрева b :

$$b = \sqrt{\lambda \cdot c_p \cdot \rho}$$

Зная b , можно рассчитать контактную температуру T_c на границе двух тел А и В:

$$T_c = \frac{b_A \cdot T_A + b_B \cdot T_B}{b_A + b_B}$$

Контактная температура T_c определяет тепловой поток между инструментом и полуфабрикатом во время формования. С помощью таблицы 1 можно рассчитать необходимые коэффициенты в зависимости от температуры.

Таблица 1: Коэффициенты для расчета показателя прогрева

материала	Коэффициенты для расчета показателя прогрева b [3]:	
	$b = a_b T + b_b$	$\left[\text{W} \cdot \text{s}^{1/2} / \text{m}^2 \cdot \text{K} \right]$
	a_b	b_b
PE-HD	1,41	441,7
PP-H	0,846	366,8
PVC-U	0,649	257,8

3.2.4 Влагопоглощение

В зависимости от исходного материала модифицирующих присадок, вспомогательных средств обработки и усиливающих добавок полимеры могут впитывать небольшие количества влаги из окружающего воздуха или вследствие влажности при хранении на складе. Однако, как правило, эти значения настолько незначительны, что не оказывают влияния на свойства формования полуфабрикатов.

В случае PVC-U, PETG, электропроводящих или цветных термопластов, эти количества влаги могут оказаться все же настолько значительными, что во время нагревания полуфабриката на его поверхности могут появляться пузырьки. В случае принятия мер для усиления материала и придания ему цвета, причиной этому являются гигроскопические свойства соответствующих присадок.

Для того чтобы исключить негативные явления, такие полимеры должны просушиваться в печах с циркуляцией воздуха (с устройством вытяжки), причем параметры просушивания могут быть взяты из таблицы 2. При просушивании в печи с циркуляцией воздуха необходимо следить за тем, чтобы панели были расположены горизонтально или были распределены по этажам так, чтобы циркуляция воздуха обеспечивалась со всех сторон.

Просушка, как правило, не требуется при хранении полуфабрикатов, защищенных от влажности.

Таблица 2: Условия просушивания термопластов, поглощающих влагу.

Материал	Температура В °С	Время (час.) на мм толщины стенки
PVC-U	55	1,5 – 2
PE-EL	125	1,5 – 2
PP-EL	155	1,5 – 2
PVDF-EL	165	1,5 – 2
PETG	65	1,5 – 2

3.2.5 Трение

Фрикционные свойства зависят от структуры поверхности и свойств материала. По причине незначительного поверхностного напряжения полимеры, как правило, при комнатной температуре обладают маленьким коэффициентом трения. Однако эти свойства меняются с изменением температуры или в результате модификации поверхности, а также при применении многослойных материалов.

Трение может влиять на процесс формования, как позитивно, так и негативно. При большом трении между инструментом и полуфабрикатом возникает ограничение на размер области контакта. На фрикционные свойства можно воздействовать с помощью следующих параметров:

- шероховатость поверхности инструмента
- температура
- тип полимера.

3.2.6 Сжатие и усадка

Полимер также подвержен увеличению удельного объема (объем на 1 кг) с повышением температуры, что связано с тепловым удлинением, проявляющимся по всем трем измерениям. Как правило, объем аморфных термопластов, с ростом температуры увеличивается почти линейно. Кристаллические термопласты ведут себя, напротив, как анизотропные материалы, т.е. их свойства зависят от направления. Измерения показывают линейное увеличение объема с повышением температуры плавления кристаллов T_K . В промежутке между температурами перехода в стеклообразное состояние T_G и T_K , увеличение объема протекает нелинейно (см. рис. 5).

В технике формования различают сжатие и усадку. Под сжатием понимается изменение размера полуфабриката при хранении с подогревом при определенной температуре:

$$\text{Сжатие в \%} = \frac{\text{Габарит до испытаний} - \text{габарит после испытаний}}{\text{Габарит до испытаний}}$$

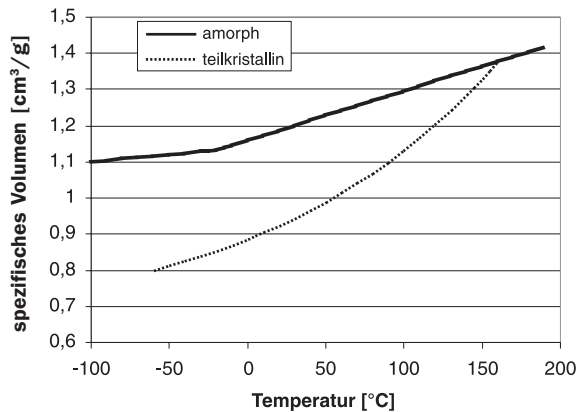


Рис. 5:
Удельный объем аморфных и частично кристаллических PP [1].

Чтобы определить сжатие во время деформации, полуфабрикат определенного размера нагревается в печи с циркуляцией воздуха – на тефлоновой пленке, которая дополнительно посыпана тальком – до температуры пластической деформации. Для установления анизотрии значения сжатия должны быть измерены во всех направлениях, в особенности в вдоль и поперек по отношению к направлению экструзии.

Проблемы образования складок, вырывания из рамного станда или сильной деформации во время нагревания с контактным нагревом могут быть связаны с

сжатием в результате слишком высокой температуры.

Точные значения усадки могут быть определены только экспериментально посредством инструментов термоформования с таким контуром, как у изготавливаемых фасонных деталей. Ориентировочные значения для различных термопластов можно взять из таблицы 3. Однако следует учитывать, что сжатие и усадка также могут зависеть от нагрузок.

За усадкой необходимо следить в особенности при дополнительной обработке фасонных деталей, так как при этом формованное изделие зачастую еще не полностью охлаждено. Усадка, как правило, зависит от следующих факторов:

- тип полимера (с возможными отклонениями при нагрузке)
- скорость охлаждения: высокая скорость охлаждения обуславливает меньшую усадку при обработке
- высокая температура при извлечении из формы приводит к большей усадке
- большое вытягивание дает меньшую усадку
- формы с положительным радиусом дают меньшую усадку по сравнению с формами с отрицательным радиусом
- в зависимости от направления экструзии возможна различная усадка

Усадка определяется как разность между размером инструмента и размером охлажденной фасонной детали. Далее, различают усадку в результате обработки, последующую усадку и общую усадку:

$$\text{Усадка в результате обработки в \%} = \frac{\text{Размеры инструмента} - \text{Размеры фасонной детали}}{\text{Размеры инструмента}}$$

Размеры инструмента и размеры фасонной детали должны измеряться после охлаждения до 23°C в течение 24 часов.

$$\text{Усадка в \%} = 1 - \frac{\text{Размеры фасонной детали после хранения на складе (дни – недели)}}{\text{Размеры фасонной детали после охлаждения (24 часа)}}$$

$$\text{Общая усадка} = \text{Усадка в результате обработки} + \text{Последующая усадка}$$

4 Термоформование

При термоформовании по одноступенчатой технологии существует принципиальное различие между положительными и отрицательными формами.

Термоформование может при этом различаться в отношении вытягивания и формования, где преследуется цель получения равномерного распределения толщины стенок. Вытягивание может происходить в результате механического растяжения формы или при использовании вспомогательного штампа, а также при применении нагнетания или отсоса воздуха. При вытягивании возникает деформация растяжения, которая обеспечивает оптимальное распределение толщины стенок при формовании.

Формование выполняется с использованием разрежения (вакуумное формование) или сжатого воздуха (формование давлением). Поддерживание разрежения при вакуумном формовании способствует тому, что полуфабрикат принимает окончательную форму под действием атмосферного давления. Максимальное давление сжатия равно 1 атм. = 0,1 Н/мм². При этом пластина или пленка прочно закреплена в зажимной раме над формой глубокой вытяжки (= инструмент). После по возможности равномерного нагревания и вытягивания, воздух между формой и материалом отсасывается, а пластина прижимается внешним давлением воздуха к форме глубокой вытяжки. После охлаждения отформованное изделие извлекается из формы.

Преимущество вакуумного формования состоит в том, что тонкостенные фасонные детали с большой поверхностью могут изготавливаться с применением простых инструментов. При этом расходы на инструменты, а также инвестиционные расходы и расходы на содержание существенно меньше, чем при литье под давлением. При этой технологии возможно также изготовление более крупных серий

продуктов, но рентабельность сохраняется и при малых сериях. Мелкие детали могут весьма рационально изготавливаться с применением многогнездных пресс-форм. При необходимости более точного формирования профиля инструмента применяется формование давлением, при котором нагреваемый полуфабрикат прижимается к форме высоким давлением (7 бар = 0,7 Н/мм² bis 10 бар = 1 Н/мм²).

Все термопласты SIMONA® в известных пределах могут формоваться с применением наиболее употребительных в наше время методов термоформования. Исключением являются высокомолекулярный полиэтилен PE-HMG 1000 и коэкструдированные панели из вспененного ПВХ SIMONA® PVC-COPLAST-AS. Здесь подходят установки всех типов. Однако для панелей толщиной от 3 мм рекомендуется нагревание материала с обеих сторон. Время нагревания при этом сокращается, что позволяет избежать термического повреждения поверхности.

Кроме того, рекомендуется предупреждать провисание материала, нагнетая воздух внутрь оболочки для опоры. Для изготовления более крупных серий автоматы следует оснастить автоматической подачей полуфабриката. В зависимости от целей применения установки могут использоваться с выпуклым штампом или без него, а также с автоматикой раскрытия заготовок вплоть до размера 2 x 6 м или без нее.

При толщине стенки 1 мм для частично кристаллических термопластов PE, PP и PVDF требуется прибл. 45 сек. Для сравнения это же время у ПВХ составляет 25 сек.

Таблица 3: Ориентировочные параметры глубокой вытяжки для материалов SIMONA.

Здесь речь идет о значениях, полученных в результате экспериментов с применением оборудования глубокой вытяжки производства фирмы Illig Тур U100 с керамическими излучателями. Температуры верхнего обогрева составляли 550/500/450 °С. Температура нижнего обогрева была равна 400 °С.

Материал	Название	Макс. вытягивания-отношение ^{1,6}	усадка в по направлению экструзии ²		инструменте температура ³	обработки - температура
			в %	в °С		
			Формование			
			Положит.	Отрицат.		
PE-HD/PE 80	PE-HWU/PE-HWST	1 : 4	2 – 3	> 3	160 – 180	50 – 70
	PE-HWV ⁴	1 : 5				
	PE-EL	1 : 3,5				
PP	PP-DWU/PP-DWST/PPs	1 : 3	1,5 – 2,5	> 2,5	170 – 200	50 – 80
	PP-DW-EM	1 : 2,5				
PVC-U	PVC-CAW/PVC-LZ	1 : 4	0,5 – 1	> 1	160 – 180	< 50
	PVC-D/PVC-DS					
	PVC-HSV/PVC-MZ ⁴	1 : 5				
	PVC-EL	1 : 2				
	SIMOCEL-AS	1 : 1,5				
	PVC-GLAS/ PVC-GLAS-SX	1 : 4				
PETG	SIMOLUX	1 : 4	0,5 – 1	> 1	160 – 180	50 – 60
PVDF	PVDF	1 : 3	2 – 3	> 3	190 – 200	60
E-CTFE ⁵	E-CTFE	1 : 3	2 – 3	> 3	250 – 260	80 – 90
PVC-C	PVC-C	1 : 2,5	0,5 – 1	> 1	170 – 190	50 – 70

¹ Отношение площади панели к площади фасонной детали

² В поперечном направлении прибл. половина значения

³ Температура поверхности, но не температура излучателя

⁴ Для предельного коэффициента вытягивания, специально для отрицательного формования

⁵ E-CTFE между 170 и 240 °С обладает очень малым разрывным удлинением и не должен обрабатываться в этой температурной области.

⁶ В зависимости от персонала управления и от установки

4.1 Положительное и отрицательное формование

Выбор положительного или отрицательного формования зависит от требуемой фасонной детали. При положительном формовании, к примеру, точность формы обеспечивается на внутренней стороне, так как полуфабрикат прилегает к инструменту своей внутренней стороной. Более того, на прилегающей стороне особенно хорошо формируется поверхность инструмента.



Рис. 6: Схематичное представление положительной формы.

Также существенно различается распределение толщины стенок: там, где у положительных форм образуется участок меньшей толщины, у отрицательных форм возникает участок большей толщины. Структурирование инструмента и данных изготовления часто обеспечивает очень хорошую форму, причем лучше всего в случае PP. При малых допусках следует использовать положительное формование, так как при охлаждении деталь на инструменте сжимается.

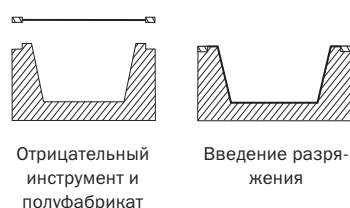


Рис. 7а: Схематичное представление отрицательной формы без механического или пневматического вытягивания.

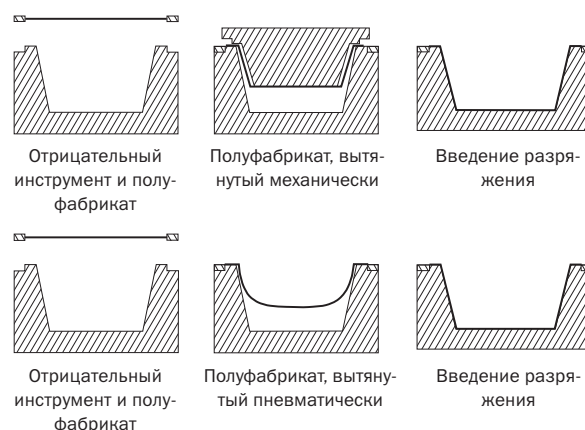


Рис. 7b: Схематичное представление отрицательной формы с механическим или пневматическим вытягиванием.

В результате этого усадка ограничивается по высоте. Если материал полностью пластифицирован, то в форму инструмента следует соответственно нагнетать воздух (иначе возможно образование складок), а при отрицательной форме производить вытягивание. Вытягивание должно происходить на высоте, равной прилб. $\frac{2}{3}$ высоты инструмента.

В заключение инструмент вставляется в вытянутую панель и вводится разрезание. В местах, где полимер прилегает к инструменту, любое дальнейшее формование ограничено в виду быстрого охлаждения. Для последующего охлаждения предпочтительно применение воздуха. Опрыскивание водой возможно лишь тогда, когда поверхность уже достаточно охлаждена, что исключает «замораживание» возникающих напряжений. Благодаря этому способу обработки обеспечивается равномерная толщина стенок и уменьшение внутренних напряжений.

Для рентабельного применения глубокой протяжки при изготовлении безупречных по своему качеству деталей из PE, PVDF и PP, рекомендуется во избежание коробления в обязательном порядке добиваться полного охлаждения деталей в отдельной раме (после вынимания из форм).

Рекомендуется производить охлаждение в таких рамах, которые соответствуют геометрии инструмента. При этом можно многократно использовать старые инструменты или деревянные формы.

Высокие температуры формования, медленное охлаждение и по возможности низкая температура при извлечении из формы, а также обрезка краев непосредственно после глубокой вытяжки – все это способствует уменьшению коробления.

4.2 Инструменты

В качестве материала для изготовления инструментов чаще всего используется дерево, алюминий, композиции смол заливочных составов, а также слоистые пластики. Выбор материала конструкции формы определяется следующими факторами:

- требуемое качество изготавливаемых деталей глубокой вытяжки (например, качество поверхностей)
- количество формований
- хорошая обрабатываемость
- теплопроводность
- износостойкость
- объем затрат.

При изготовлении инструментов необходимо учитывать усадку термопластов и направление экструзии панели. Унифицированная серия и короткий производственный цикл обеспечиваются при использовании инструментов с термообработкой. Подвергнутые пескоструйной обработке поверхности обладают тем преимуществом, что при вакуумной технологии глубокой вытяжки воздух отсасывается полностью, что исключает образование воздушных полостей.

Диаметр вакуумных отверстий не должен быть больше 1 мм (для полиолефинов не более 0,8 мм), так

как в противном случае они могут (в уменьшенном виде) переходить на пластифицированный материал. Поверхность формы рекомендуется покрывать разделительным средством (тальком, аэрозольным тефлоном, воском или мылом). благодаря возможному вытягиванию нагретой панели, как правило, при использовании положительного метода может достигаться лучшая равномерность толщины стенок.

В случае PP и PET-G радиусы краев могут быть относительно острыми. Минимальные радиусы при указанной температуре формования соответствуют толщине панели. Для PE-HD, PVC и PVDF мы рекомендуем увеличенные радиусы краев (прибл. 2–3 толщины панели). Использование положительных форм в случае частично кристаллических полимеров (PE, PP, PVDF, E-CTFE) требует соблюдения конусности от 5° до 10°, а для аморфных термопластов (PVC, PET-G) прибл. 5°. При отрицательных формах в этом нет необходимости, так как деталь глубокой вытяжки, при охлаждении отделяется от формы.

4.3 Подогрев

Чтобы сократить время использования установки, мы рекомендуем, подогреть панель в печи с циркуляцией воздуха вплоть до температур из области размягчения (PE-HD 110 °C, PP 125°C, PVC 50–55°C, PVC-C 70 –80°C, PET-G 60 –70°C, PVDF 140°C, E-CTFE 140 °C). При нагревании следует работать с пониженной мощностью нагрева. При этом поверхность панели предохраняется от температурного воздействия. Этот способ обработки позволяет увеличить срок службы деталей. Для предупреждения сильного коробления деталей глубокой вытяжки необходимо обеспечить полную пластификацию материала, включая края.

Для исключения сквозняков мы настоятельно рекомендуем экранировать установку глубокой вытяжки со всех сторон.

4.4 Нагревание полуфабриката

Нагревание полуфабриката является одной из важнейших стадий технологии термоформования. Полуфабрикат при этом должен нагреваться до требуемой температуры деформации экономно, т.е. с минимальным потреблением энергии и за минимальное время. В общем, следует обращать внимание на то, чтобы нагревание поверхности полуфабриката протекало равномерно.

Температурная неравномерность может обеспечивать преимущества при термоформовании лишь в особых случаях. При нагревании необходимо учитывать интервал обработки, ограниченный верхней и нижней температурами формования. Эти температуры зависят от материала, их можно взять из таблицы 3. Нагревание должно регулироваться таким образом, чтобы температура полуфабриката не выходила за пределы этой области обработки.

На практике нельзя исключить градиент температуры по толщине стенки. Однако следует тщательно следить за тем, чтобы не была превышена граничная температура внутри полуфабриката с тем, чтобы избежать возникновения напряжений в формируемом изделии. К примеру, при очень высокой температуре излучателя поверхность полуфабриката нагревается слишком интенсивно, в результате чего возникает деструкция или другие необратимые изменения поверхности материала.

По причине малой теплопроводности поверхности температура внутри полуфабриката может отставать и в итоге оказывается слишком низкой. Как следствие, происходит «замораживание» напряжений и ухудшение долговременной стабильности фасонной детали в связи с большими напряжениями в поверхностном слое. Момент образования оптимального распределения температур в полуфабрикате зависит, прежде

всего, от термодинамических свойств применяемого полуфабриката и метода нагревания. Во всяком случае, точный расчет параметров нагревания является очень сложным и дорогостоящим, так как при этом речь идет об определении всех термодинамических характеристик полуфабриката, инструмента и оборудования нагревания.

Практичный подход состоит в том, чтобы параметры полуфабриката и инструмента определялись экспериментально. Для определения поверхностного распределения температуры можно использовать приборы бесконтактного измерения температуры (ИК-термометры) или индикаторные температурные полоски. С использованием этих вспомогательных средств можно также определить распределение температуры при нагревании с помощью излучателя.

4.4.1 Контактное нагревание

При контактном нагревании полуфабрикат панели накладывается на нагреваемую пластину с разделительной пленкой (тефлоновая пленка) с упором для лучшего контакта или помещается между двумя нагреваемыми пластинами (с разделительной пленкой каждая) и остается в этом положении до тех пор, пока не достигнет контактной температуры нагреваемых пластин. Нагревание происходит лишь за счет теплопроводности панели. На практике следует обращать внимание на равномерное распределение температуры в нагреваемых пластинах во избежание пиковых температур, которые приводят к чрезмерным нагрузкам, воздействующим на полуфабрикат.

4.4.2 Конвекционное нагревание

Под конвекционным нагреванием понимается нагревание полуфабрикатов в печи с циркуляцией воздуха до температуры формования. Этот метод применяется, например, в случае панелей PETG большой толщины, формование которых выполняется в вытяжном штампе.

4.4.3 Нагревание излучателем

Нагревание излучателем представляет собой процесс взаимодействия источника электромагнитного излучения с поверхностью, поглощающей это излучение в форме тепла. Как известно, излучение характеризуется длиной волны.

Полимеры поглощают излучение преимущественно в инфракрасном диапазоне (ИК-область), волн от 0,8 до 10 мкм. Поглощение излучения зависит от толщины, цвета полимера и длины волны источника излучения. Если поверхность поглощает почти всю энергию излучения, то в этом диапазоне волн не происходит прямого нагревания внутренней области панели. Если длина волны находится между 1 и 1,4 мкм, то глубина проникновения излучения составляет несколько миллиметров. При длине волны выше 2,5 мкм, прежде всего, нагревается поверхность, поэтому нагревание панелей большей толщины в условиях низкой теплопроводности при определенных обстоятельствах может потребовать весьма большого времени.

На практике не существует мономодальных, т.е. использующих только одну длину волн, излучателей. Стандартные источники излучения используют всю ИК-область и, в зависимости от типа, обладают своими максимумами для различных длин волн (рис. 8).

Хорошо известно, что керамические излучатели обладают очень широким спектром излучения и тем самым также охватывают область, в которой большинство полимеров обладают высокой способностью поглощения энергии излучения. Излучатели видимого излучения, напротив, обладают одним четким максимумом излучения, так что основная энергия излучается в промежутке между 0,5 и 2 мкм. Это как раз тот интервал, в котором глубина проникновения излучения особенно велика, и тем самым поглощение достигает минимума. При этом нагревание внутренних областей

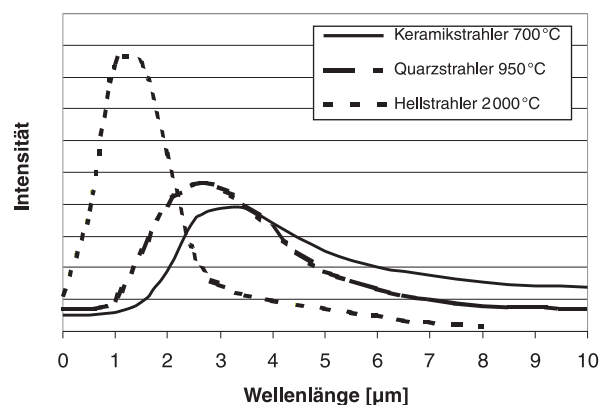


Рис. 8: Характеристики излучения различных стандартных ИК-излучателей.

той происходит не только за счет теплопроводности поверхности, но и в результате нагревания панели при прямом проникновении излучения во внутреннюю область.

С повышением температуры излучения максимум энергии излучения смещается в сторону более коротких волн. Вносимая в полуфабрикат энергия также зависит от температуры излучателя, что может привести к существенному уменьшению длительности цикла. Новые излучатели, обладающие максимумом при 1 мкм (галогенные излучатели), должны обеспечивать еще более короткий цикл нагревания [4].

Однако для теплопередачи здесь имеют место физические пределы, устанавливаемые характеристикой поглощения излучения полимером. Поэтому излучатели видимого излучения подходят для применения не в каждом случае, так как они слишком сильно нагревают поверхность, и внутренние области пластины не успевают за изменением температуры поверхности. Как следствие, слишком сильное нагревание может привести к необратимому повреждению поверхности полуфабриката, что негативно сказывается на долговечности полимера и стабильности цвета, в особенности, при атмосферных воздействиях.

4.5 Ориентация – влияние направления экструзии

Для определения ориентации или направления вытягивания макромолекул в полуфабрикате подходит тест на усадку. Выраженная ориентация, которая, как правило, предопределяет направление экструзии, оказывает большое влияние на образование складок. Усадка в направлении экструзии панели обычно существенно выше, чем в поперечном направлении. При применении многоразовых инструментов с равноотстоящими сегментами или в случае форм, содержащих повторяющиеся сегменты, длина которых больше ширины (рис. 9), чтобы избежать образованием складок следует выбирать направление экструзии параллельно продольному измерению сегментов. Это особенно важно, когда в направлении, перпендикулярном экструзии, возникает отрицательная усадка.

В качестве основного правила может служить следующее: Продольное направление панели = Продольная ориентация детали глубокой вытяжки. Для специальных применений глубокой вытяжки мы рекомендуем использовать PVC-T или PVC-TF.

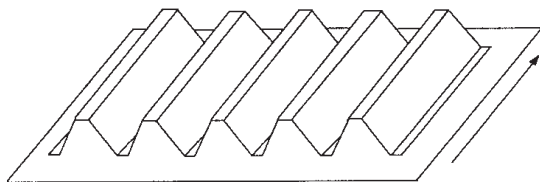


Рис. 9:
Для фасонных деталей с выраженной ориентацией экструзию полуфабриката следует ориентировать в направлении, совпадающем с продольной ориентацией отдельных сегментов.

4.6 Расчет толщины стенки для деталей глубокой вытяжки

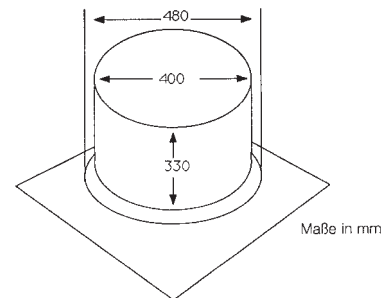
Коэффициент глубокой вытяжки определяется, как отношение площади плиты основания (O_1) к площади поверхности вытянутой детали (O_2).

В предположении практически равномерного распределения толщины стенки ниже приведены два примера расчета:

Круглый резервуар

Дано:

- Рама глубокой вытяжки с маской $D_1 = 48$ см
- Цилиндр $D_2 = 40$ см, $h = 33$ см
- Желаемая толщина стенки $s_1 = 3$ мм



Найти:

- Выходная толщина стенки $s_2 = x$ мм

Решение:

O_1 (площадь плиты основания)	$= r^2 \cdot \pi =$	$24 \cdot 24 \cdot \pi =$	1.809 см^2
Оболочка М	$= D_2 \cdot \pi \cdot h$	$40 \cdot \pi \cdot 33 =$	4.147 см^2
O_2 (площадь вытянутой детали)	$= O_1 + \text{Оболочка}$		$= 5.956 \text{ см}^2$

Коэффициент вытягивания $s_1 : s_2 \approx O_1 : O_2 \approx 1 : 3,3$

Вывод:

Для получения в формованном изделии толщины стенки 3 мм панель должна иметь толщину не менее 10 мм.

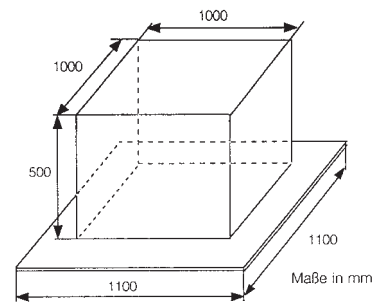
Прямоугольный резервуар

Дано:

Рама глубокой вытяжки с маской = $1,1 \cdot 1,1 \text{ м}^2$
 Прямоугольный резервуар = $1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,5 \text{ м}^3$
 Выходная толщина стенки $s_2 = 5 \text{ мм}$

Найти:

Толщину стенки готовой детали $s_1 = x \text{ мм}$



Решение:

Площадь плиты основания $O_1 = 1,1 \cdot 1,1 \text{ м}^2 = 1,21 \text{ м}^2$
 Площадь оболочки $M = 4 \cdot 1,0 \cdot 0,5 \text{ м}^2 = 2,00 \text{ м}^2$
 Площадь вытянутой детали $O_2 = O_1 + M = 3,21 \text{ м}^2$

Коэффициент вытягивания $s_1 : s_2 \approx O_1 : O_2 \approx 1 : 2,5$

Вывод:

Толщина стенки детали глубокой вытяжки должна быть не более 2 мм (лучше всего рассчитывать на 1,5 мм).

5 Тепловое формование

В противоположность термоформованию, при котором материал вытягивается и нагревается с одной или с двух сторон при высокой температуре излучателя, при тепловом формовании нагревание протекает в более щадящем режиме печи с циркуляцией воздуха.

При тепловом формовании термопластичный полуфабрикат также нагревается до температуры эластичности резины, чтобы обеспечить как можно меньшие силы деформации и остаточные напряжения в детали после охлаждения (гл. 2).

При формообразовании, раскрытый и нагретый полуфабрикат помещается в форму и с помощью разрежения или механически выдерживается в ней до своего охлаждения, чем обеспечивается достижение достаточно высокой жесткости.

Для точного соблюдения размеров фасонных деталей, следует провести предварительные исследования – непосредственно с серийным инструментом или с другим сравнимым по форме инструментом. Далее, путем экспериментов должна быть определена температура формования, так как механические показатели с изменением температуры могут снижаться самым различным образом. Это поясняется следующим примером PVC-U (рис. 10). Разрывное удлинение имеет минимум при 135 °С, так что формование следует производить вне этой области.

Специально для теплового формования SIMONA AG предлагает такие полуфабрикаты, как PE-HWV, которые в особых условиях производства демонстрируют значения сжатия, отвечающие требованиям теплового формования.

Панели требуемого формата должны вырезаться с учетом величины сжатия. Рекомендуется оставлять

небольшой дополнительный допуск по длине, так как в любом случае необходима последующая обработка.

Вырезанные части панелей лучше всего нагревать в хорошо регулируемой печи с циркуляцией воздуха. Термопластичные пластины следует вкладывать в этажные полки горизонтально, чтобы обеспечить нагревание со всех сторон.

В качестве опорных температур для формуемых пластин предлагаются следующие значения:

- PE-HD 125 – 150 °С
- PP-H 160 – 170 °С
- PVC-U 110 – 140 °С
- PETG 140 – 170 °С
- PVDF 175 – 200 °С
- E-CTFE 160 – 170 °С

Более высокие температуры с целью повышения тактовой частоты возможны лишь при условии контроля состояния поверхности и измерения ее температуры.

Длительность нагревания зависит от температуры печи с циркуляцией воздуха, подвижности окружающего теплого воздуха, толщины стенки нагреваемой пластины и, не в последнюю очередь, от сорта полимера. Для ориентации, в мастерских хорошо зарекомендовали себя следующие соотношения:

- Время нагревания полиолефинов и PVDF в минутах:
6-кратная толщина пластины (мм)
- Время нагревания PVC в минутах:
3-кратная толщина пластины (мм)
- Время нагревания PETG в минутах:
3-кратная толщина пластины (мм)

Необходимо следить за тем, чтобы для теплового формования пластины были равномерно нагреты во всех местах (визуальный контроль).

В противном случае существует опасность возвратов формы после ее сокращения при охлаждении.

Выбор формуемого материала производится с учетом желаемого срока службы и действующих нагрузок, 01/2005 PI вакуумное формование 19 предусмотренного числа формований, а также качества поверхности готовой детали. Инструмент формования может изготавливаться из гипса, литейной смолы, дерева, полимера или из металла. Однако, в гипсовой форме следует обеспечить минимальную остаточную влажность, иначе в инструменте будет происходить слишком быстрое охлаждение.

Обычно работают с двумя половинами инструмента (матрица и патрица). В зависимости от обстоятельств одна половина инструмента может быть заменена тканью, наматывающейся на нагретый сегмент поверх литейного стержня и остающейся до охлаждения.

6 Гибка

Линейная по своей форме зона сгибания пластины может нагреваться различным образом с одной или с двух сторон:

1. Бесконтактно

- посредством излучения (инфракрасный или кварцевый излучатель)
- посредством тела накаливания или нагревательного стержня
- посредством нагнетания подогретого воздуха

2. Путем непосредственного контакта

- с плоским нагревательным элементом

После достаточного нагревания полимерная пластина сгибается с заданным углом и фиксируется до тех пор, пока материал не затвердеет снова. Нагнетание воздуха при этом ускоряет охлаждение.

При двойной толщине стенки панели гибка может производиться с минимальным радиусом.

7 Консультации

Сотрудники нашего отдела технических приложений обладают многолетним опытом применения и обработки наших термопластичных полуфабрикатов.

При обращении к нам мы охотно проконсультируем вас.

Эл. почта: ata@simona.de

8 Литература

- [1] James L. Throne, Joachim Beine: Thermoformen (Термоформование), Hanser Verlag München Wien 1999
- [2] Adolf Illig: Thermoformen in der Praxis (Практика термоформования), Hanser Verlag München Wien 1997
- [3] Georg Menges: Werkstoffkunde Kunststoffe (Материаловедение полимеров), Hanser Verlag München Wien 1990
- [4] W. Daum: Halogenstrahler verbessern das Warmformen (Галогенные излучатели улучшают тепловое формование). Kunststoffe 84 (1994), Том 10, Стр. 1433 – 1436

SIMONA во всём мире

SIMONA AG**Teichweg 16****D-55606 Kirn****Phone +49 (0) 67 52 14-0****Fax +49 (0) 67 52 14-211****mail@simona.de****www.simona.de****Завод I/II**

Teichweg 16

D-55606 Kirn

Phone +49(0)67 52 14-0

Fax +49(0)67 52 14-211

Завод III

Gewerbestraße 1-2

D-77975 Ringsheim

Phone +49(0)7822 436-0

Fax +49(0)7822 436-124

Завод V

Würdinghauser Str. 53

D-57399 Kirchhundem

Phone +49(0)27 23 772-0

Fax +49(0)27 23 772-266

SIMONA S.A. Paris

Z.I. 1, rue du Plant Loger

F-95335 Domont Cedex

Phone +33(0)1 39 35 49 49

Fax +33(0)1 39 91 05 58

domont@simona-fr.com

SIMONA S.A. Lyon

Z.I. du Chanay

2, rue Marius Berliet

F-69720 Saint-Bonnet-de-Mure

Phone +33(0)4 78 40 70 71

Fax +33(0)4 78 40 83 21

lyon@simona-fr.com

SIMONA S.A. Angers

Z.I. 20, Bld. de l'Industrie

F-49000 Ecoflant

Phone +33(0)2 41 37 07 37

Fax +33(0)2 41 60 80 12

angers@simona-fr.com

SIMONA UK LIMITED

Telford Drive

Brookmead Industrial Park

GB-Stafford ST16 3ST

Phone +44(0)1785 222444

Fax +44(0)1785 222080

mail@simona-uk.com

SIMONA AG SCHWEIZ

Industriezone

Bäumlimattstrasse

CH-4313 Möhlin

Phone +41(0)61 855 9070

Fax +41(0)61 855 9075

mail@simona-ch.com

SIMONA S.r.l. ITALIA

Via Padana

Superiore 19/B

I-20090 Vimodrone (MI)

Phone +39 02 25 08 51

Fax +39 02 25 08 520

mail@simona-it.com

SIMONA IBERICA**SEMIELABORADOS S.L.**

Doctor Josep Castells, 26-30

Polígono Industrial Fonollar

E-08830 Sant Boi de Llobregat

Phone +34 93 635 41 03

Fax +34 93 630 88 90

mail@simona-es.com

SIMONA-PLASTICS CZ, s.r.o.

Zděbradská ul. 70

CZ-25101 Říčany-Jažlovice

Phone +420 323 63 78 3-7/-8/-9

Fax +420 323 63 78 48

mail@simona-plastics.cz

www.simona-plastics.cz

SIMONA POLSKA Sp. z o.o.

ul. H. Kamieńskiego 201-219

PL-51-126 Wrocław

Phone +48(0)71 352 80 20

Fax +48(0)71 352 81 40

mail@simona.pl

www.simona.pl

SIMONA FAR EAST LIMITED

Room 501, 5/F

CCT Telecom Building

11 Wo Shing Street

Fo Tan

Hongkong

Phone +852 2947 0193

Fax +852 2947 0198

sales@simona.com.hk

SIMONA AMERICA Inc.

64 N. Conahan Drive

Hazleton, PA 18201

USA

Phone +1 866 501 2992

Fax +1 800 522 4857

mail@simona-america.com

www.simona-america.com