

Пятипоршневая система вакуумного планарного прессования печатных плат и гибридная технология нагрева

или

как главному технологу
и начальнику цеха ПП навсегда
избавиться от головной боли
из-за участка прессования?



Текст: **Семен Хесин**



Увеличивающийся спрос на высокотехнологичные многослойные печатные платы (МПП) с заданным импедансом, где важно строго соблюдать зазор между слоями, обеспечивать минимальный разброс толщин, а также особенности работы с различными типами препрегов вынуждают производителей печатных плат предъявлять все более высокие требования к участку прессования. В данной статье описаны запатентованные технологии, разработанные фирмой Fusei Menix, которые позволяют производителям печатных плат комфортно выполнять требования, предъявляемые техпроцессом.

Введение

Для того чтобы понять, с какими дефектами прессования периодически сталкиваются производители многослойных печатных плат, обратимся к действующему ГОСТу 23661-79 «Платы печатные многослойные. Требования к типовому технологическому процессу прессования», в приложении 9 которого приведен список характерных дефектов:

- разнотолщинность спрессованной заготовки;
- просматривание проводящего рисунка внутренних слоев на поверхности фольги спрессованной заготовки;
- белесость, непропрессовка, вздутие и расслаивание спрессованной заготовки при большом облое;
- белесость, непропрессовка, вздутие и расслаивание спрессованной заготовки при незначительном облое;
- вздутие и отслоение фольги на поверхности спрессованной заготовки;
- вмятины на поверхности фольги;
- вздутие и расслаивание спрессованной заготовки после воздействия термоудара.

Когда обнаруживают коробленную плату с непропрессовками/вздутиями/расслоениями, возникает традиционный вопрос: кто виноват и что делать?

Причин множество, но основных пять:

- человеческий фактор;
- оборудование, несоответствующее современным требованиям производства прецизионных МПП 5-7 класса точности по ГОСТ Р 53429-2009;
- базовые материалы (препрег, фольга, стеклотекстолит);
- вспомогательные материалы (термобуфер, антиадгезивная пленка) и оснастка (пресс-формы);
- подготовительные операции (компоновка плат, технологическое поле и т.д., подготовка слоев и препрега перед прессованием).

В этой статье мы постараемся дать ответ на вопрос о том, какие современные технологии должны присутствовать в процессе прессования МПП, отвечающих современным требованиям.

Для начала определим факторы, которые связаны с оборудованием и влияют на качество операции прессования:

1. Равномерность давления:
 - насколько плоскопараллельны плиты пресса и насколько равномерно они оказывают давление на заготовку?
2. Равномерность теплопередачи:
 - насколько равномерно нагрета каждая плита пресса и, соответственно, насколько равномерно передается тепло от плит к заготовкам?
3. Возможность контроля скорости охлаждения и нагрева:
 - есть ли такая возможность? В каком диапазоне регулируется и контролируется скорость нагрева или охлаждения?

4. Степень разряжения (вакуум):
 - заполняются ли пустоты в заготовках? Есть ли возможность отключения вакуума?
 - эффективно ли удаляются «летучие»?
5. Программирование и работа автоматики:
 - какими возможностями обладает система управления прессом, и насколько слаженно работает автоматика?

Также необходимо упомянуть о ряде факторов, которые не влияют на качество операции, но, тем не менее, являются немаловажными при выборе пресса:
6. Эргономичность:
 - насколько оператору удобно работать на прессе? Насколько дружелюбен интерфейс управления системой?
7. Экономичность:
 - будет ли пресс окупать себя с экономической точки зрения?
 - является ли пресс небольшим по габаритам?
8. Производительность участка прессования.

Лидером мирового производства высокотехнологичных систем вакуумного ламинирования является компания Fusei Menix, которая поставляет прессы рис ¹ таким гигантам производства электронной техники как Foxconn, Samsung, LG, SIMMTECH и др. Количество работающего оборудования достигает 560 комплектов. Fusei Menix является обладателем 28 патентов по конструкции прессов для производства МПП и постоянно инвестирует в развитие новых уникальных технических решений.

Рассмотрим наиболее важные особенности традиционных прессов и прессов фирмы Fusei Menix в разрезе вышеописанных факторов.



¹ Внешний вид 5-поршневого пресса Fusei Menix

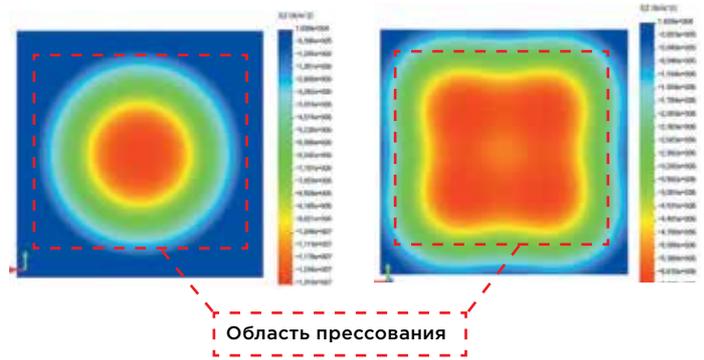
Системы приложения давления

Традиционные прессы имеют один поршень и несколько стальных плит пресса. Благодаря гидравлической системе поршень поднимает нижние плиты и смыкает их с верхней. Поршень по площади всегда меньше плиты пресса, из-за чего давление на центр плиты больше, а на края, по законам физики, меньше. Как следствие, на краях заготовок могут возникнуть дефекты из-за разных условий прессования.

Недавно появилась новая четырехпоршневая система сжатия плит пресса рис 2. Четыре поршня оказывают равномерное давление на нижнюю плиту и, соответственно, на заготовку, значительно уменьшая количество дефектов, возникающих из-за неравномерности давления.

Благодаря постоянному поиску идей и совершенствованию оборудования компания Fusei Menix разработала пятипоршневую систему, сравнение которой с традиционной приведено в Т 1.

В производстве печатных плат в настоящее время часто используется много типоразмеров заготовок. Чем меньше размер заготовки, тем больше риск погнуть пресс-формы или повредить плиты пресса. Чтобы избе-

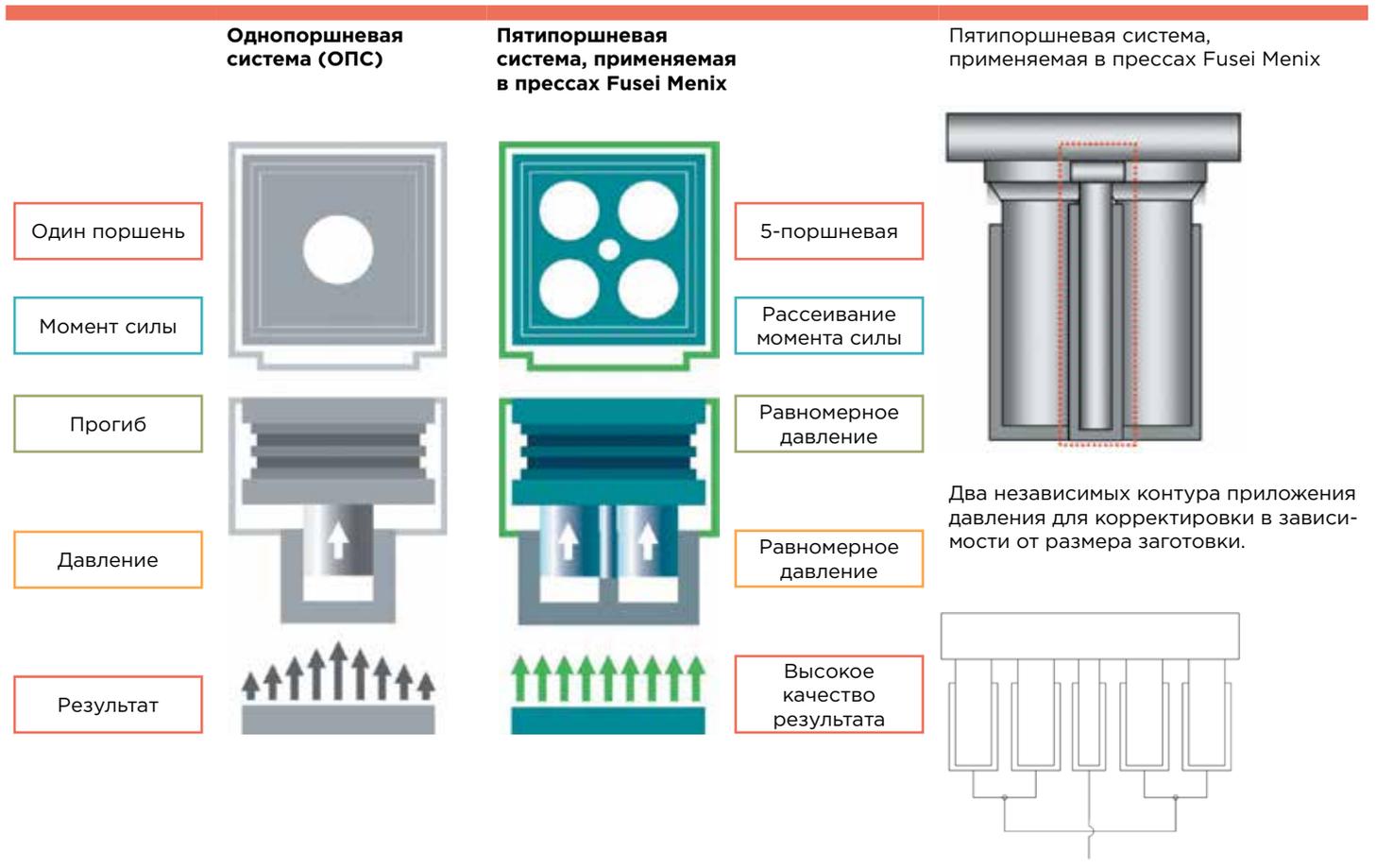


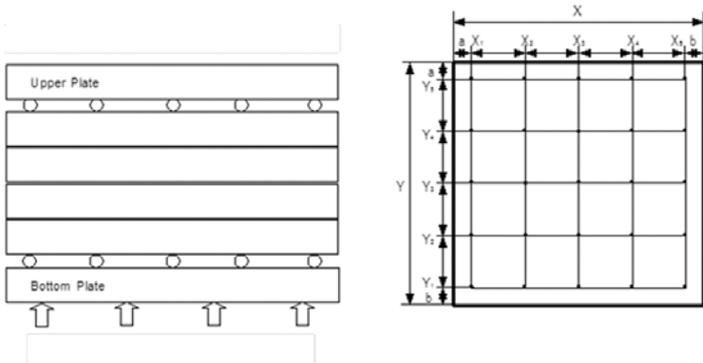
2 Равномерность приложения давления при разных системах

жать этого, пятипоршневые прессы фирмы Fusei Menix имеют два независимых контура приложения давления Т 1 (первый контур регулирует давление центрального поршня, а второй — четырех оставшихся поршней) и встроенное программное обеспечение, которое позволяет прессу корректировать давление по центру и по краям в зависимости от размера заготовки. Например, в случае малого размера заготовки большее давление будет прикладываться на центральный поршень, что обеспечит более высокую равномерность распределения давления на всю площадь заготовки.

Т 1

Сравнение систем приложения давления





3 Схема эксперимента по определению плоскопараллельности

Также на прессах Fusei Menix был проведен эксперимент по определению плоскопараллельности плит в условиях постоянного изменения температуры и воздействия высокого давления РИС 3:

Последовательность действий в эксперименте:

1. Нарезаем на части фиксированной длины прутки припоя Ø 3 мм.
2. Куски припоя аккуратно укладываем вдоль контрольных точек в соответствии с эскизом.
3. Прессуем припой при температуре 30~40 кг/см² в течение 2 мин.
4. Измеряем толщину припоя Т 2.

Здесь мы видим явное преимущество пятипоршневой системы. Статистика говорит сама за себя. С цифрами не поспоришь.

Т 2 Результаты эксперимента по определению плоскопараллельности плит прессы

Пятипоршневая система Fusei Menix после 7 лет эксплуатации					
Точка	X 1	X 2	X 3	X 4	X 5
Y 1	1,405	1,391	1,392	1,388	1,417
Y 2	1,392	1,378	1,371	1,377	1,398
Y 3	1,393	1,372	1,369	1,369	1,398
Y 4	1,391	1,374	1,372	1,373	1,392
Y 5	1,398	1,382	1,385	1,385	1,394

Разброс толщин T = 36 мкм

Однопоршневая система на новом прессе					
Точка	X 1	X 2	X 3	X 4	X 5
Y 1	1,429	1,418	1,382	1,402	1,414
Y 2	1,422	1,401	1,361	1,371	1,408
Y 3	1,411	1,366	1,355	1,358	1,391
Y 4	1,412	1,392	1,363	1,383	1,411
Y 5	1,439	1,414	1,398	1,417	1,422

Разброс толщин T = 84 мкм

Системы нагрева

Во время процесса прессования базовый материал (пре-прег) полимеризуется и затвердевает под воздействием температуры. При неравномерном распределении температуры по поверхности плиты прессы пре-прег также прогревается неравномерно и, как следствие, какие-то его отдельные области могут полимеризоваться раньше, а какие-то — позже, что приводит к производственному браку (коробление и непропрессовки).

Существует несколько систем нагрева заготовок во время прессования, рассмотрим кратко преимущества и недостатки каждой из них.

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НАГРЕВА ПЛИТ ПРЕССА. ТРАДИЦИОННЫЙ МЕТОД

Данная система — традиционная и на текущий момент наиболее распространенная. Нагрев системы происходит за счет так называемых ТЭНов, которые интегрируются в плиту прессы. Это позволяет обеспечить быстрый нагрев и охлаждение. В результате многочисленных экспериментов на различных прессах было выявлено, что различия температуры между центром плиты и ее краем могут достигать 5-7°C в пределах одной плоскости. Если при этом происходит прессование одновременно нескольких заготовок в одном пресспакете, то разница температуры в одних точках между центральной заготовкой и заготовками, расположенными ближе к плитам, может быть 12-17°C.

Таким образом, максимальное различие температур на заготовках во время прессования может достигать 24°C и более при увеличении числа заготовок и габаритов плит. Смола в некоторых типах препрегов начинает течь при температуре 120-130°C, а рекомендуемая температура полимеризации — 160-170°C. Это означает, что в каких-то заготовках процесс полимеризации будет близок к завершению, а в каких-то смола только начнет течь. Эти состояния смолы являются определяющими для подбора режимов прессования. Следовательно, качество прессования при использовании пресса во многом зависит от использования буферных материалов, позволяющих обеспечивать равномерное распределение нагрева, и от подбора режимов прессования, а значит от опыта технологов (человеческого фактора).

2. НАГРЕВ ПЛИТ ПРЕССА МАСЛЯНЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ. ТРАДИЦИОННЫЙ МЕТОД

В данной системе нагрева помимо пресса должна присутствовать специальная масляная станция (бойлер), которая нагревает/охлаждает масло и подает его в плиты пресса, обеспечивая условно равномерный нагрев. Это достигается за счет того, что в плите пресса отсутствуют трубки с хладагентом и в масляной станции есть два резервуара:

- первый содержит масло, нагретое до температуры примерно на 60°C больше максимальной температуры плит пресса;
- второй содержит холодное масло.

Холодное и горячее масла смешиваются в пропорциях, соответствующих программе прессования, и только после этого подаются в плиту пресса, обеспечивая равномерный нагрев.

Масляный пресс обладает большей скоростью нагрева и охлаждения по сравнению с электрическим, но для его работы необходим предварительный нагрев масла до требуемой температуры в течение 20-30 минут.

Минусом данной системы нагрева является необходимость затрачивать огромное количество воды

и электроэнергии для охлаждения и нагрева масла, потребность в крупногабаритном бойлере, а также ограничение по максимальной температуре нагрева, так как температура масла в бойлере должна быть на 50-60°C выше максимальной температуры плит пресса.

3. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НАГРЕВА ПОСРЕДСТВОМ РАЗОГРЕВА МЕДНОЙ ФОЛЬГИ ДЖОУЛЕВЫМ ТЕПЛОМ

Альтернативой традиционным методам нагрева на текущий момент является электрическая система нагрева через медную фольгу. Принцип работы системы показан на рис. 4.

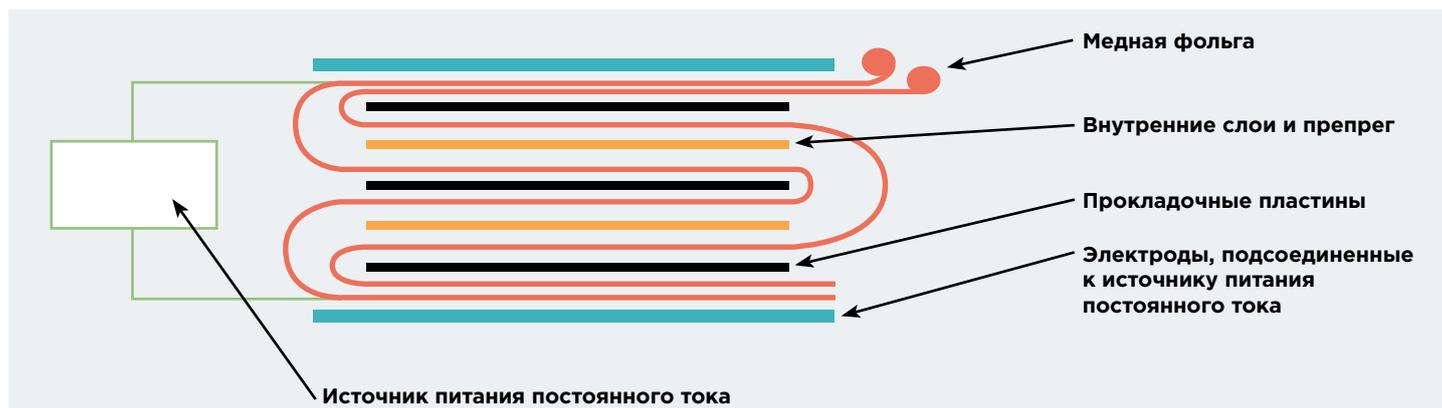
Решение, бесспорно, является оригинальным, но по нескольким причинам абсолютно далеким от многоменклатурного мелкосерийного производства печатных плат и непригодным для прессования препрегов, требующих большого удельного давления. Главный минус такой конструкции в том, что прессы не имеют гидроцилиндра большой мощности, поэтому пресс не может развивать большое давление на полный размер заготовки.

Использование подобной системы прессования в производстве печатных плат целесообразно при серийности выпуска продукции. Также система не позволяет обеспечивать охлаждение заготовок в цикле прессования, что ведет к деформации печатных плат и микрорасслоениям.

Из-за таких особенностей систему применяют на предприятиях по выпуску ламинатов и очень ограничено в производстве МП П.

4. ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА НАГРЕВА

Производители прессов десятилетиями пытались найти конструктивное решение по созданию системы нагрева, которая совмещала бы преимущества электрической и масляной. И это удалось компании Fusei Menix. Конструкция была запатентована и носит название Red Wave (англ. Красная волна). Это название разработчики присвоили системе за быстроту и равномерность на-

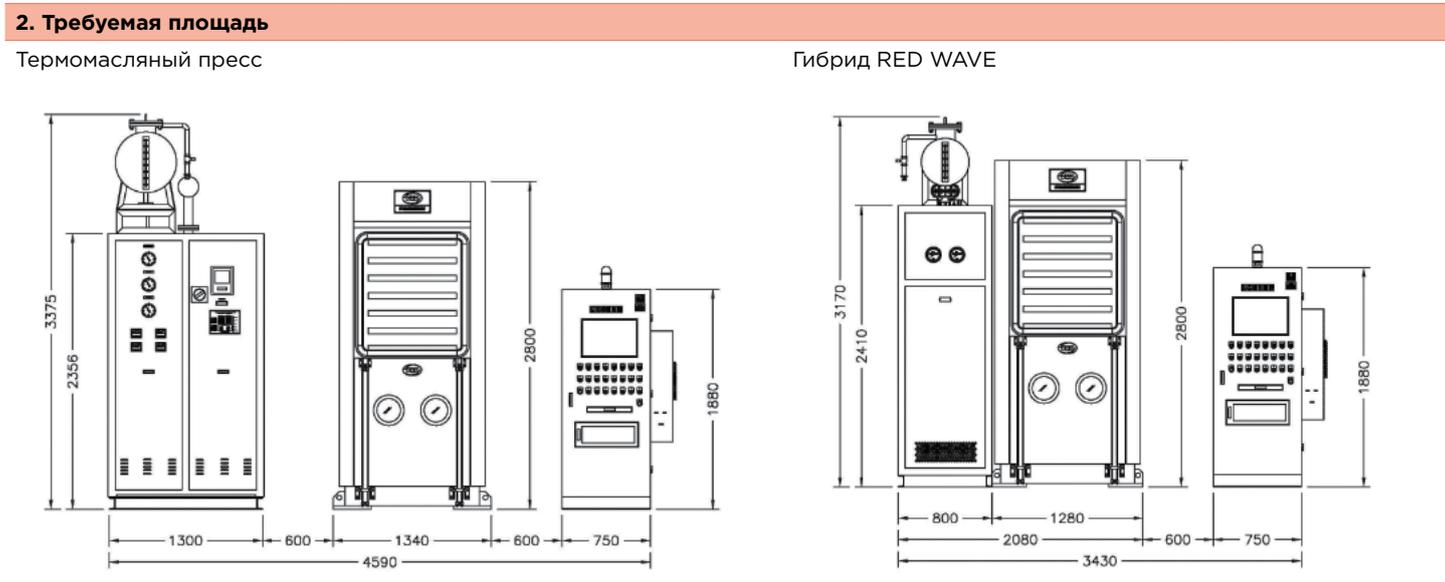
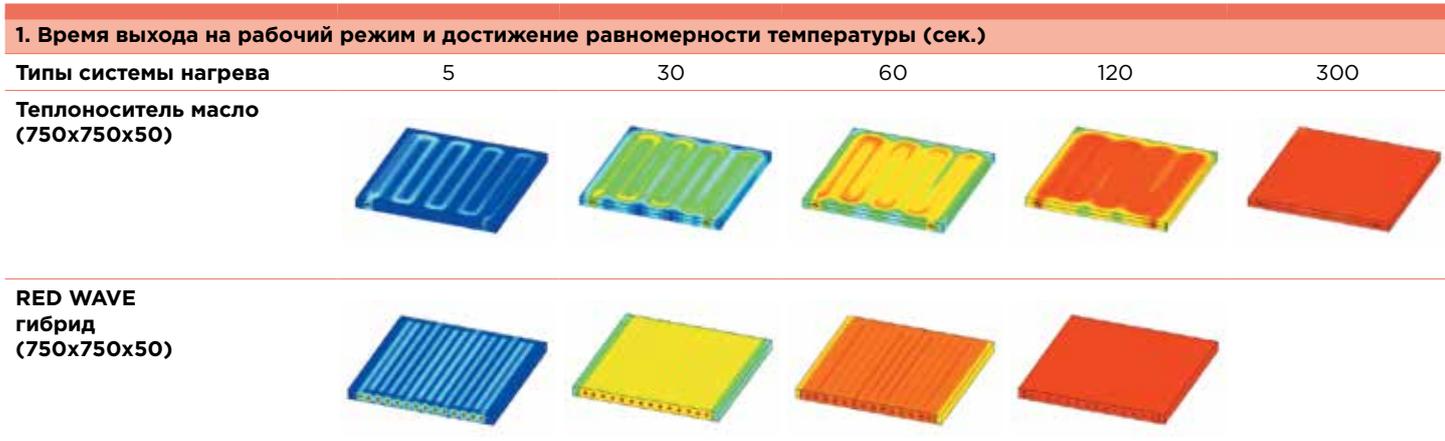


4

Принцип действия электрической системы нагрева посредством разогрева медной фольги джоулевым теплом

ТЗ

Сравнение термомасляного пресса и гибрида RED WAVE по времени



грева плиты пресса до высоких температур, необходимых для прессования высокотехнологичных материалов. А решение, как оказалось, лежало на поверхности. Как совместить преимущества двух систем? Их нужно объединить. В гибридной системе присутствуют и ТЭНы, и специальные каналы внутри плит пресса, по которым проходит масло.

Давайте сравним традиционные системы нагрева и систему нагрева RED WAVE ТЗ.

Основные преимущества гибридной системы нагрева RED WAVE:

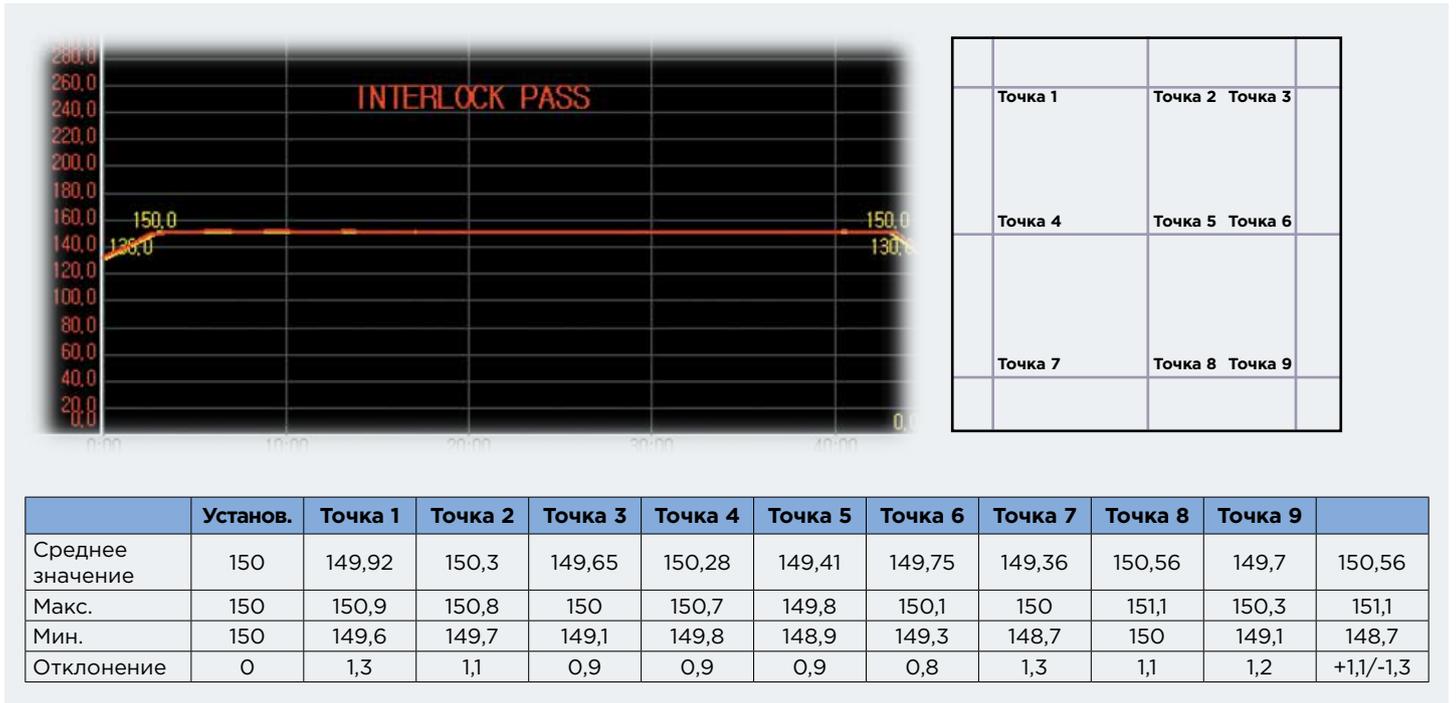
- 1. Быстрый нагрев** благодаря электрическому и масляному нагреву. В процессе прессования есть этапы, когда скорость нагрева / охлаждения не влияет на качество прессования. Для того, чтобы сэкономить время и уменьшить цикл прессования, на таких этапах от пресса требуется максимальная скорость нагрева или охлаждения.
- 2. Стабильное и равномерное распределение температуры** благодаря теплопереносу маслом. Отклонение температуры $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ на плитах пресса.

3. Экономия площади по сравнению с масляной системой нагрева за счет уменьшения размера бойлера, что является очень актуальным для предприятий, которые не располагают большими производственными площадями.

4. Экономия электричества и воды охлаждения. Экономия воды (хладоносителя) и электроэнергии достигается за счет уменьшения количества нагреваемого/охлаждаемого масла.

Для подтверждения высокой равномерности нагрева плит пресса системой RED WAVE был проведен эксперимент рис 5:

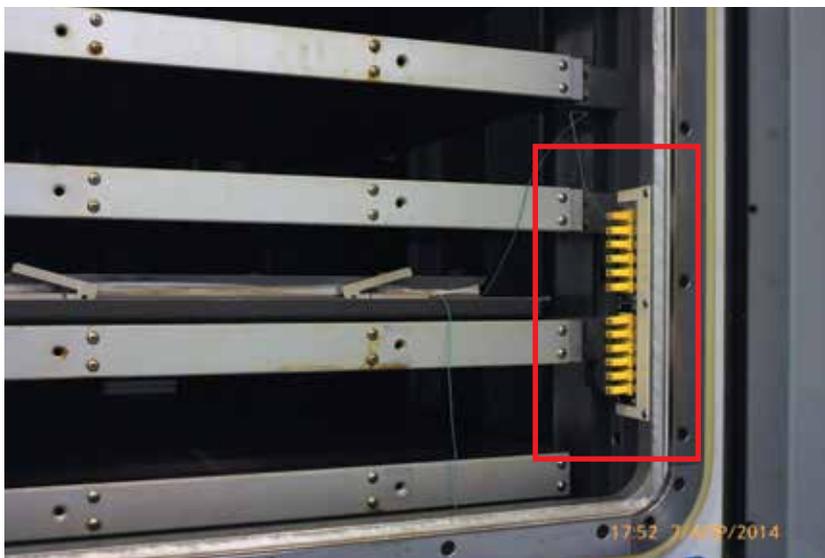
- Последовательность действий в эксперименте:
- Выбираем девять точек на плите для проверки температуры.
 - Начинаем проверять температуру спустя 20 мин (150°C , 30 мин).
 - Замеряем температуру: максимальную, минимальную, вычисляем среднее значение и отклонение.
 - Убеждаемся, что отклонение температуры не превышает $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$.



5 Эксперимент по определению равномерности нагрева плит пресса системой RED WAVE

Одной из важных особенностей прессов Fusei Menix является наличие в прессе контактной группы для подключения термопар, расположенной внутри вакуумной камеры, и программного обеспечения для вывода температуры внутри заготовки МПП на экран монитора рис 6, что является «мощным инструментом» технолога при определении момента гелеобразования для определения момента приложения

основного давления. Благодаря этому больше нет необходимости самостоятельно придумывать, как именно подключать термопары и следить за температурой в заготовках. Этот «инструмент» позволяет комфортно отслеживать состояние препрега в пресуемом пакете МПП и очень важен при работе с препрегами, имеющими большое время гелеобразования и требующими прессование в «две ступени».



Контактная группа для подключения термопар

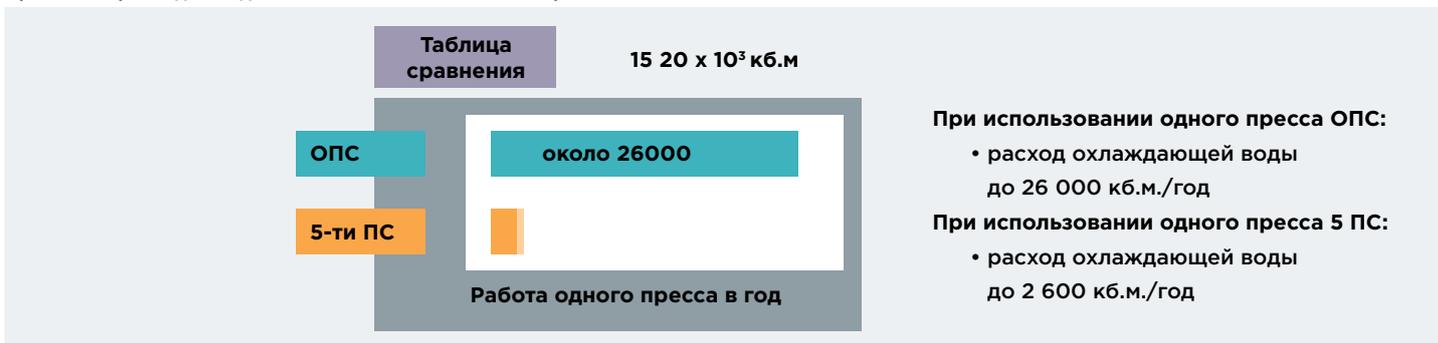


Отображение показаний температуры на термопарах

6 Возможность подключения термопар

Т 4

Сравнение расходов воды в зависимости от систем нагрева



Т 5

Сравнение расходов на электроэнергию различных систем нагрева



Экономия охлаждающей воды при применении гибридной системы нагрева Red Wave

Количество потребляемой охлаждающей воды Т 4:

- термомасляный вакуумный пресс = 100 л/мин => до 72 000 л/день => до 2 160 000 л/месяц => до 25 920 000 л/год;
- гибридный вакуумный пресс = 10 л/мин => до 7 000 л/день => до 216 000 л/месяц => до 2 592 000 л/год.

Эффект снижения затрат => снижение расхода охлаждающей воды и потребляемой энергии.

Экономия электроэнергии при использовании гибридной системы нагрева Red Wave

Расходы на электроэнергию, требуемую для нагрева пресса Т 5:

- термомасляный вакуумный пресс: 132,9 кВт в цикл. Расходы на электроэнергию на 10 лет = 132,9 кВт x 10 лет x 200 дней x 24 часа (3-сменный график работы) x 7 руб./кВт*час = 44,7 млн руб.
- гибридный вакуумный пресс: 92,9 кВт в цикл. Расходы на электроэнергию на 10 лет = 92,9 кВт x 10 лет x 200 дней x 24 часа (3-сменный график работы) x 7 руб./кВт*час = 31,2 млн руб.

Комплексное решение для участка прессования «под ключ»

Производительность участка прессования зависит не только от пресса, но и от системы сборки/разборки пресс-форм. В настоящее время есть много ручных или полуавтоматических систем сборки/разборки пресс-форм, но компания Fusei Menix пошла еще дальше и разработала полностью автоматическую систему рис 7, которая позволяет собирать до 162 пресс-форм в час. Если нет необходимости в автоматической системе сборки/разборки пресс-форм или если такая система уже имеется, то прессы могут быть доукомплектованы устройствами рис 8 для увеличения производительности, а также удобства пользования и соблюдения техники безопасности.



7

Высокопроизводительная система сборки/разборки пресс-форм с конвейерной роликовой системой перемещения



8

Тележка для загрузки и разгрузки пресс-форм из пресса, буфер, холодный пресс



9

Шестиэтажный вакуумный горячий пятипоршневый пресс с полуавтоматической системой разгрузки/загрузки прессов и с входным и выходным буфером (фотографии сделаны на предприятии в г. Москва)

Заключение

В качестве заключения приведена общая сравнительная таблица традиционных прессов и прессов компании Fusei Menix.

Параметр	Традиционные прессы	Прессы Fusei Menix	Комментарий
Система приложения давления	Однопоршневая	Пятипоршневая	Применение пятипоршневой системы, плит пресса с толщиной 50 мм и плоскопараллельностью 0,02 мм на метр позволяет обеспечить максимальную равномерность давления и достигнуть минимального коробления плат
Толщина плит пресса, мм	35-50	50	
Плоскопараллельность плит пресса	0,05 мм на метр	0,02 мм на метр	
Система нагрева заготовок	1. Электрическая 2. Масляная 3. Электрическая система нагрева посредством разогрева медной фольги джоулевым теплом	Запатентованная технология гибридного нагрева Red Wave	Применение технологии Red Wave позволяет добиться максимально равномерного и быстрого нагрева заготовок, высочайшего качества пропрессовки, а также сэкономить электроэнергию и воду охлаждения. Технология Red Wave позволяет контролировать скорость нагрева и охлаждения и не препятствует выходу летучих
Максимальная температура на плитах пресса, °C	220-350	220-400	Максимальная температура 400°C на плитах пресса и давление 250 тонн позволяют прессовать все типы современных материалов для производства высокотехнологичных плат, в том числе и СВЧ диапазона.
Давление прессования, тонн	125-150	150, 200, 250	
Вакуумная система	Обычная: давление менее 50 торр	Оптимизированная: давление менее 30 торр	Благодаря оптимизированной вакуумной системе вакуум в камере прессования может быть выше 30 торр, что позволяет эффективно удалять летучие
Производительность	Опционально: 1. ручной разгрузчик/загрузчик 2. система автоматизированной загрузки/разгрузки без буферов Кол-во этажей: 1-4	Опционально: 1. ручной разгрузчик/загрузчик 2. система автоматизированной загрузки/разгрузки из буферов 3. полностью автоматическая система сборки/разборки пресс-форм 4. ручная система сборки/разборки пресс-форм Кол-во этажей: 1-8	Компания Fusei Menix разработала полностью автоматическую систему сборки/разборки пресс-форм, а также загрузки/разгрузки в пресс, благодаря чему производительность участка прессования сборки/разборки может достигать 162 пресс-формы МПП в час Восьмиэтажные прессы на сегодняшний день обладают наибольшей производительностью
Экономичность	1. Расход охлаждающей воды до 26 000 куб.м./год 2. Расходы на электроэнергию на 10 лет = 44,7 млн руб. 3. Большие габаритные размеры	1. Расход охлаждающей воды до 2 600 куб.м./год 2. Расходы на электроэнергию на 10 лет = 31,2 млн руб. 3. Средние габаритные размеры	1. Использование прессов Fusei Menix позволяет ежегодно экономить воду охлаждения: до 23 400 куб.м. 2. Использование прессов Fusei Menix позволяет экономить до 13,5 млн руб. в 10 лет. 3. Прессы Fusei Menix позволяют экономить производственные площади.
Эргономичность, система управления прессом и безопасность	Неудобное и неоптимизированное программное обеспечение и система управления прессом	Удобное и интуитивно понятное программное обеспечение на русском языке, разработанное компанией Fusei Menix; наличие в комплекте пошаговой инструкции оператора на русском языке (подготовлена инженерами Остек-СТ); защита от ошибки оператора	Удобная и безопасная работа оператора. Программное обеспечение на русском языке. Один оператор может обслуживать до 4 горячих и 4 холодных прессов одновременно

Статья написана на основе личного опыта работы автора на прессе Fusei Menix. Во время эксплуатации пресса проводилось прессование сложных МПП, в том числе и СВЧ диапазона, создавались различные программы прессования, контролировались результаты прессования. Нареканий к оборудованию Fusei Menix (его про-

граммированию, системе нагрева RED WAVE, пятипоршневой системе приложения давления, автоматизации, эргономике и т.д.) не возникло.

Мировые производители печатных плат уже сделали свой выбор, а Вы?



Пример участка прессования на предприятии в Южной Корее

Используемая литература:

1. С. Новокрещенов. Коробление многослойных печатных плат. «Электронные компоненты» №02, 2004.
2. ГОСТ 23661-79 Платы печатные многослойные. Требования к типовому технологическому процессу прессования
3. ГОСТ Р 53429-2009 Платы печатные. Основные параметры конструкции
4. <http://www.fusei.co.kr/>
5. <http://lauffer.de/en/company>
6. <http://www.buerkle-gmbh.de/en.html>
7. <http://www.hml-hm.com/indexeng.htm>
8. <http://www.cequi.it/AboutUs.htm>