

ЛАЗЕРНАЯ МАРКИРОВКА МАТЕРИАЛОВ

Маркировка деталей и узлов – один из важных процессов в современном производстве. Отсутствие маркировки затрудняет (а в ряде случаев делает невозможным) контроль качества и объема выпускаемой продукции. Маркировка нужна производителю для продвижения его торговой марки, а потребителю – как гарантия качества и источник информации о параметрах продукции. Все это требует совершенствования методов маркировки, не влияющих на свойства маркируемых деталей и изделий.

Из существующих способов маркировки лазерная маркировка – наиболее современный, технологичный и гибкий метод, позволяющий управлять лазерным излучением (во времени и в пространстве), регулировать его энергию. При использовании лазеров различной длины волны круг маркируемых материалов очень широк: металлы, пластик, полупроводники, резина, кожа, спецсплавы, дерево и т.д. Маркировка осуществляется точно, быстро и качественно.

ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОЙ МАРКИРОВКИ

На сегодня, несмотря на многообразие лазеров, реальное коммерческое применение для маркировки получили системы с твердотельными лазерами с длиной волны 1,06 мкм и CO₂-лазерами (10,6 мкм).

Современный лазерный комплекс для маркировки содержит, как правило: управляющий компьютер, источник излучения, системы передачи, перемещения и контроля параметров излучения. Для промышленного применения используют лазерные маркеры со сканаторными и портальными системами развертки луча [1] (рис.1). Сканаторы (или устрой-

ства сканирования) перемещают лазерный луч со скоростью до 6 м/с и обеспечивают точность отслеживания контура до 1,5 мкм. Их объективы позволяют обрабатывать изделия и поверхности размерами до 250×250 мм, хотя обычно для маркировки достаточно поля 100×100 мм. Современные двигатели и новые технические решения обеспечивают скорость перемещения луча в портальных системах до 3,5 м/с при высокой точности повторения контура. При этом портальные системы работают на поле порядка 750×450 мм. Сканаторы с успехом используются как для твердотельных, так и для CO₂-лазеров. Портальные системы используются в основном для CO₂-лазеров. Это связано с особенностями фокусировки излучения различной длины волны [2], которая накладывает ограничения на размеры рабочего поля и на возможность комбинации системы развертки с конкретным лазерным излучателем. Отметим, что сканаторы одинаково легко (благодаря меньшим моментам инерции) обеспечивают как векторный, так и растровый режимы маркировки. Портальные системы имеют лучшие показатели при растровом режиме маркировки.

Существуют и другие способы формирования изображения, например масочные или построенные на вращающихся

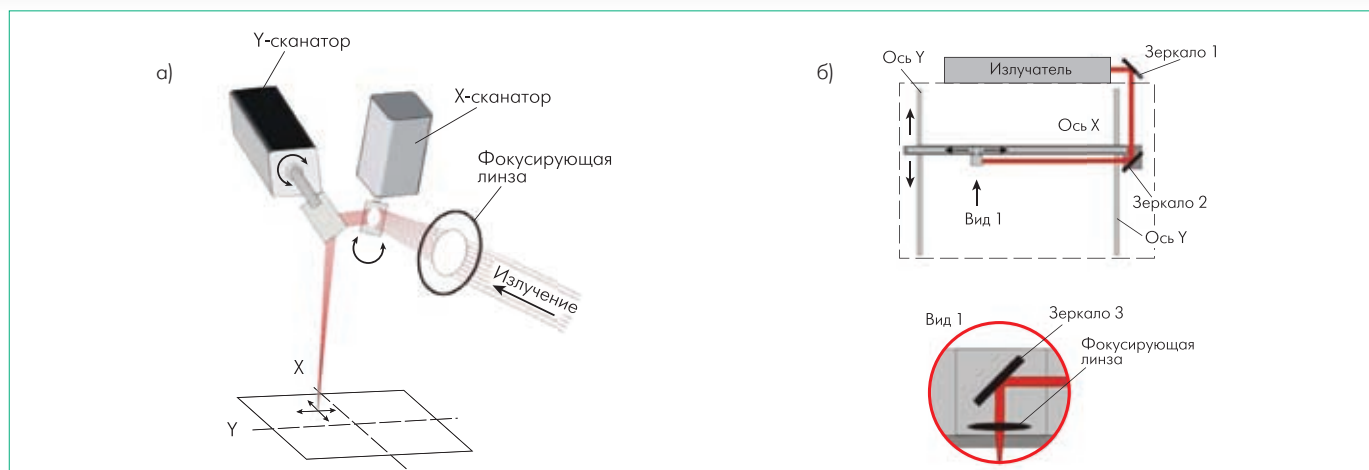


Рис. 1 Принцип построения сканаторной и порталной систем развертки луча в лазерных маркерах

полигонах. Однако такие системы не универсальны и разрабатываются для конкретного применения.

Лазеры, интегрируемые в системы и станки, должны иметь широкий диапазон, линейность и монотонность изменения параметров, стабильность характеристик излучения.

Отпаянные CO₂-лазеры с высокочастотной накачкой — основные типы излучателей для маркирующих систем на базе CO₂-лазеров. Они имеют небольшие габариты, легко встраиваются в различные системы, удобны в управлении и обеспечивают мощность 100–200 Вт (при плотности мощности излучения в зоне контакта с материалом не выше 10^5 Вт/см²). В CO₂-лазерах импульсы излучения формируются с помощью широтно-импульсной модуляции так, что уровень импульсной мощности не может превышать мощность непрерывного излучения. Другие типы CO₂-лазеров (в том числе и более мощные) не применяются в маркировочных системах из-за больших габаритов и высокой стоимости.

Ввиду таких ограничений CO₂-лазеры используются в основном для маркировки неметаллических материалов или

металлов с неметаллическим покрытием (окрашенных, анодированных и проч.). Для этих лазеров существует технология маркировки металлов с предварительным нанесением специальной пасты или составов, например LMM-14, и их последующим удалением, но она не нашла широкого применения. Примером систем на базе CO₂-лазеров могут служить станки "Лазерного Центра" типа "С-Маркер" (рис.2а) и компании TROTEC серии "SPEEDY 300" (рис.2б).

Твердотельные лазеры (в отличие от лазеров на CO₂) за счет модуляции добротности могут генерировать мощные импульсы высокой частоты (до десятков кГц) при низкой средней мощности излучения (десятки ватт), обеспечивая плотность мощности излучения в зоне контакта на уровне $(1-5) \cdot 10^8$ Вт/см² и более [3]. Такие параметры обеспечивают интенсивное воздействие излучения на материал при минимальном общем его нагреве. Это позволяет применять твердотельные лазеры для маркировки металлов, тугоплавких сплавов и сталей, высокотвердой керамики в различных отраслях промышленности.



Рис. 2 Лазерные маркирующие системы на базе CO₂-лазеров: система "С-Маркер" со сканаторной разверткой (а); система SPEEDY 300 с порталной разверткой (б)

Таблица 1. Характеристики излучения твердотельных лазеров маркирующих систем

	"БетаМаркер-2010"	"ДиоМаркер-Д10"	"МиниМаркер-М10"
Марка излучателя	Б-2010	DPSS-10	ILP-05/100/20
Тип излучателя	Nd:YAG-лазер	Nd:YAG-лазер	ОВ Yt-лазер
Устройство накачки	Ксеноновая лампа	Диодная линейка	Набор диодов
Характеристики излучателей:			
Длина волны, мкм	1,064	1,064	1,05–1,07
Максимальная мощность, Вт	16	10	10
Энергия в импульсе, мДж	5	1,5	0,5
Длительность импульса, нс	1000	20–70	100
Частота следования импульсов, кГц	0,1–20	1–80	20–100
Потребляемая мощность, кВт	5	1	0,7

Примером могут служить выпускаемые "Лазерным Центром" станки для лазерной маркировки "БетаМаркер-2010", "ДиоМаркер-Д10" и "МиниМаркер-М10" (рис.3), характеристики которых сведены в табл.1 (здесь ОВ – оптоволоконный).

Несмотря на различия характеристик, все указанные типы лазеров с успехом могут применяться в станках для маркировки разных материалов [4]. В целом, параметры лазерных излучателей будут аналогичны представленным в табл.1.

Заказчик имеет возможность выбора между различными типами систем. Для него важны не только их характеристики, но и потребительские и эксплуатационные свойства. Сегодня преобладают лазерные системы, выполненные на лазерах с диодной накачкой, к которым относятся и ОВ-лазеры. Такая накачка гарантирует 10000–30000 часов бесперебойной работы, тогда как лучшие лампы накачки требуют замены каждые 500–1000 часов [1]. Системы для маркировки на базе лазеров с диодной накачкой значительно компактнее, легче, проще в обслуживании и гораздо надежнее систем с ламповой накачкой. Они потребляют гораздо меньше электроэнергии и, как правило, не требуют водяного охлаждения, что и обеспечивает им коммерческий успех.

Процесс лазерной маркировки состоит в модификации поверхности материала под действием лазерного излучения [5]. Оно вызывает локальный разогрев, плавление и частичное испарение материала в области, ограниченной размерами пятна излучения, что обуславливает высокую степень разрешения при небольшом термомеханическом воздействии на маркируемое изделие. Применение ВЧ-излучателей и скоростных систем развертки позволяет получать качественные цифро-буквенные и графические изображения на материале изделий. Технология лазерной маркировки имеет следующие преимущества:

- широкую номенклатуру маркируемых материалов;
- отсутствие механического (при минимальном термическом) воздействия на изделие;
- высокая точность, контрастность и стойкость наносимых изображений;
- большая скорость и производительность процесса;
- возможность маркировки в труднодоступных местах.

Эти преимущества определяют широкое применение лазерной маркировки в промышленности.



Рис.3 Вид установок лазерной маркировки и гравировки: а) "МиниМаркер-М10" на базе ОВ Yt-лазера; б) "ДиоМаркер-Д10" на базе Nd:YAG-лазера с диодной накачкой; в) "БетаМаркер-2010" на базе традиционного Nd:YAG-лазера с ламповой накачкой

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОЙ МАРКИРОВКИ

Лазерная маркировка применяется в различных отраслях промышленности, начиная с пищевой и ювелирной и кончая авиастроительной и атомной. Это универсальный метод нанесения информации на детали и изделия. Рассмотрим некоторые общие примеры.

Маркировка изделий массового производства – одна из наиболее эффективных областей применения этого метода. Учитывая минимальность воздействия на материал, можно наносить информацию на готовое изделие (после его тестирования) без дополнительных операций. Так как любое изделие массового производства всегда имеет разброс параметров (по какому-то закону), то предварительная сортировка и последующая маркировка уже готового узла дает возможность совместить реальные параметры изделия (класс, сорт, точность и т. д.) с тем, что заявляет производитель. Это позволяет точно позиционировать товар в ценовой группе и максимально извлекать прибыль от реализации качественной продукции потребителю. Маркировка как финишная операция готового изделия позволяет отказаться от диспетчеризации потоков деталей при производстве, что ведет к экономии ресурсов.

Маркировка может наноситься на готовое изделие. Это дает производителю возможность маркировать продукт после его сортировки тем логотипом, что используется тем или иным держателем торговой марки. Последнее обеспечивает точное соответствие продукции требованиям данной марки, работая на престиж производителя. Нанесение информации (спецзнаков) непосредственно на изделие, позволяет также обеспечить высокую степень защиты изделий от подделки.

Лазерная маркировка изделий массового производства применяется при производстве подшипников, часовых механизмов, микросхем, форсунок двигателей и деталей автомобилей (рис.4).

Маркировка серийных изделий с оперативно изменяющейся информацией – одна из проблем, которые могут быть легко решены с помощью лазерной маркировки. Управляемость лазерного излучения позволяет наносить динамически меняющуюся информацию об изделии, храня-



Рис.4 Лазерная маркировка подшипника

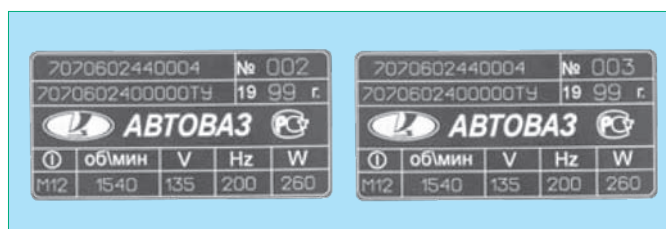


Рис.5 Маркировка изделий с меняющейся информацией (шильдик автоагрегата)

щуюся в компьютере: номера партии и изделия, дату и время выпуска. Аналогично можно маркировать телефонные и другие пластиковые карты, внося, например, комбинации номера карты, данных чипа, информации о заказчике и др. Так же эффективно решаются подобные задачи при производстве информационных табличек для сборных изделий и механизмов (автомобили, двигатели), тепловыделяющих элементов, продукции пищевой промышленности (рис.5).

Маркировка изделий с повышенными требованиями к стойкости маркировки – еще одна задача, успешно решаемая с помощью лазерной маркировки. Уникальные свойства лазерного излучения и выбор собственно материала позволяют совместить высокую стойкость маркировки и сохранение свойств маркируемого изделия. Это важно при маркировке клавиатур компьютеров, пластиковых деталей автомобилей, телефонных и других кнопок (рис.6), а также при внедрении системы качества ИСО, требующей от производителя гарантировать "прослеживаемость" изделия в течение нескольких (трех) лет.

Маркировка штрихкодов на изделии позволяет автоматизировать процесс учета и контроля и обеспечивает высокую степень защиты изделий от подделки. Традиционными



Рис.6 Лазерная маркировка с высокой стойкостью изображения (клавиши и кнопки)



Рис.7 Лазерная маркировка штрихкодов

методами нанесения штрихкодов на промышленные изделия практически невозможно. В этом случае лазерная маркировка имеет бесспорное преимущество. Разработанные технологии позволяют сегодня обрабатывать различные типы одномерных штрихкодов – EAN, ITF, бар-код 39, двумерных кодов – PDF 417 и др. Высокое разрешение лазерной маркировки дает возможность наносить штрихкоды на металлические, пластмассовые и другие изделия (рис.7).

Маркировка позволяет заменить традиционные методы нанесения информации. В предыдущих случаях акцентировалось внимание на уникальных особенностях лазерной маркировки. Однако она может также эффективно применяться и для замены ударного и электрохимического методов маркировки инструмента, деталей машин и механизмов, панелей приборов, станков, оружия и проч.

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ЛАЗЕРНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ МАРКИРОВКИ

Наряду с традиционными, интересны и **новые технологические возможности** маркировки материалов, которые дают современные излучатели, в частности ОВ-лазеры. Их особенность – в существенно более высоком качестве лазерного пучка.

Все твердотельные лазеры, используемые для маркировки, имеют (см. табл.1) несколько оптимизируемых параметров: частоту и длительность импульса, распределение мощности по пятну нагрева и т.д. Известно, что для лазеров, например с ламповой накачкой (система типа "БетаМаркер-2010"), оптимальный диапазон частоты при маркировке металлов составляет 2–5 кГц, а использование такой частоты в ОВ-лазере (система "МиниМаркер-М10") вообще невозможно. Если, например, сравнивать режимы маркировки в разных системах при одинаковой мощности лазерного излучения,

то корректного результата мы не получим, так как временные и энергетические характеристики импульсов различны, не говоря о существенных различиях пространственных характеристик излучения.

На рис.8 показано состояние поверхности нержавеющей стали после маркировки вышеупомянутыми системами при нормированных условиях обработки (одинаковое перекрытие пучков, визуально похожий результат воздействия). Видно, что рисунки структуры после обработки имеют существенные отличия. ОВ-лазер ("МиниМаркер-М10"), имея высокостабильные пространственно-временные характеристики излучения, формирует четкую, ярко выраженную симметричную структуру (рис.8а). Лазеры с ламповой накачкой ("БетаМаркер-2010") практически не позволяют сформировать периодическую структуру на металле (рис.8в) ввиду изменения пространственного распределения энергии излучения от импульса к импульсу (нестабильность этого параметра излучения может достигать 100% и более). Лазеры с диодной накачкой ("ДиоМаркер-Д10") занимают промежуточное положение (рис.8б). Некоторое нарушение периодичности структуры связано, видимо, с высокой пиковой мощностью излучения и с нестабильностью, вызываемой процессами плавления и выноса продуктов разрушения из зоны взаимодействия при формировании "точек" на металле. Рис.8 наглядно демонстрирует различия современных лазеров при маркировке металлов и дает возможность оценить возможности каждой из систем. Можно ожидать, что лазер с диодной накачкой (особенно ОВ-лазеры) обеспечат существенное улучшение изображений за счет высокого разрешения.

Изображение высокого разрешения получается при использовании систем "МиниМаркер-М10" (ОВ-лазер) и "ДиоМаркер-Д10" (рис.9). При этом качество растровых картинок, выполненных на металле у систем с ОВ-лазером, несколько выше, как и следовало ожидать из анализа рис.8.

Нужно отметить, что использование лазерных излучателей с диодной накачкой для маркировки мелкоразмерных

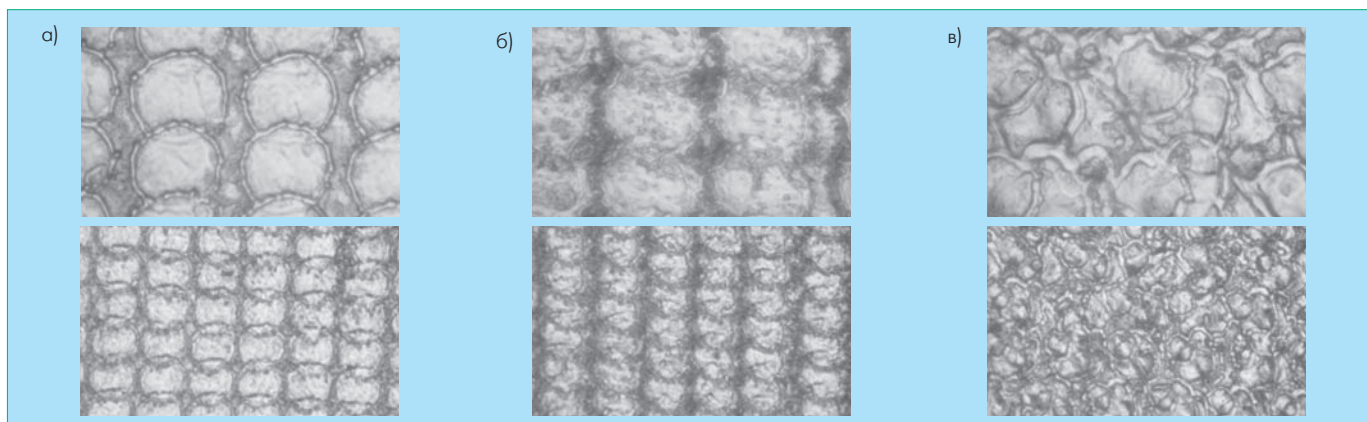


Рис.8 Структуры поверхности нержавеющей стали при обработке различными системами: а) "МиниМаркер-М10" на базе ОВ Yt-лазера; б) "ДиоМаркер-Д10" на базе Nd:YAG-лазера с диодной накачкой; в) "БетаМаркер-2010" на базе Nd:YAG-лазера с ламповой накачкой

векторных изображений на металле предпочтительнее по сравнению с ОВ-излучателем. Это объясняется тем, что при обработке векторного алгоритма в точках смены направления движения система развертки работает по принципу "торможение-остановка-разгон". При этом количество тепла, вводимого волоконными лазерами, существенно больше, чем лазерами с диодной накачкой, – учитывая разницу в диапазоне частот. У ОВ-лазеров минимальная частота существенно выше, чем у лазеров с диодной накачкой, что вызывает в этих местах большой перегрев материала. Это приводит к нарушению геометрии при маркировке векторного изображения малого размера, особенно когда необходимо получить глубокую гравировку. Глубокое изображение малого размера проще реализовать лазером с диодной накачкой, так как он использует более низкие частоты. При решении аналогичной задачи ОВ-лазером в местах смены направления движения включают функцию понижения/повышения мощности в соответствии с изменением скорости, но это усложняет технологию и оборудование. При относительно больших размерах изображений существенного различия между системами нет. Однако производительность у ОВ-лазера выше за счет более высоких частот.

При гравировке изображений с высоким разрешением на пластике (см. рис.9) существенных различий между системами



Рис.9 Изображения высокого разрешения, выполненные на нержавеющей стали (а) – система "МиниМаркер-М10" (ОВ-лазер) и на ABS-пластике (б) – система "ДиоМаркер-Д10" (Nd:YAG-лазер с диодной накачкой)

ми с ОВ-лазером и Nd:YAG-лазером с диодной накачкой нет. В обоих случаях качество маркировки очень высокое.

Эффект цветной маркировки некоторых металлов

и сплавов формируется стандартными режимами только у систем с ОВ-лазерами [6]. Стабильность пространственно-временных характеристик излучения этих лазеров дает возможность точно дозировать энергию пучка и формировать четкие структуры на поверхности металла с небольшим разбросом геометрических параметров. Именно высокое качество и стабильность характеристик излучения позволяют получить устойчивый эффект цветной маркировки (рис.10). Поскольку суть цветной маркировки – образование оксидных пленок соответствующего состава на поверхности материала, то этот эффект наблюдается только на тех металлах и сплавах, которые способны образовывать цветные окислы. Это могут быть, например, железо, титан и их сплавы, цирконий и др. Как показано в табл.2. параметром, характеризующим образование оксидной пленки той или иной структуры и цвета, может служить интеграл от температуры поверхности мишени по времени (Φ).

Как видно из табл.2, каждому цвету соответствует свое значение интегральной температуры, которая при широком изменении параметров режима (мощности, скорости, частоты) лежит в узком диапазоне: для красного цвета 1,12–1,30, для голубого 0,49–0,57, для желтого 1,04–1,09. Это напоминает закон Бунзена-Росно (в фотохимии): количество продукта фотохимической реакции определяется общим количеством энергии падающего излучения, то есть произведением мощности излучения на время действия, или обобщенным параметром – экспозицией (количеством освещения). При этом фотохимический эффект не меняется для различных значений обобщенного параметра.

Отметим, что цветная маркировка может быть получена и у лазеров с диодной и даже с ламповой накачкой. Однако этот эффект неустойчивый ("плавающий") и трудно воспроизводимый. Условие постоянства интегральной температуры является, видимо, необходимым, но для получения эффекта цветной маркировки, требуются еще

Таблица 2. Интегральная температура и цвет поверхности нержавеющей стали

Цвет поверхности, воспринимаемый невооруженным глазом	P, Вт	V, мм/с	F, кГц	Φ , К·с
Красный	6,5	50	85	1,12
	6,5	45	100	1,30
	4,0	30	100	1,25
	3,0	17	53	1,29
Голубой	6,5	90	75	0,51
	5,4	60	35	0,56
	4,0	50	40	0,49
	2,8	60	65	0,57
Желтый	5,4	35	55	1,09
	4,1	40	50	1,06
	3,0	35	65	1,04



Рис.10 Цветные изображения при маркировке системой "МиниМаркер-М10" с ОВ-лазером (полированная нержавеющая сталь)

какие-то условия, связанные с пространственно-временными характеристиками излучения и их стабильностью. Именно эти последние условия выполняются у ОВ-лазеров, что и определяют возможность получения цветной маркировки.

Эффект цветной лазерной маркировки и возможность его использования требуют дальнейших исследований и изучения, однако уже можно твердо говорить о нем, как о новой технологии (рис.10).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лазерная маркировка – перспективное и динамично развивающееся технологическое направление. Прогресс в области электроники и программного обеспечения существенно повышает конкурентоспособность лазерных методов маркировки по сравнению с традиционными методами маркировки. Появление новых типов мощных лазеров позволяет создавать компактное оборудование, удобное для пользователя. На сегодня можно утверждать, что в России полностью сформировался рынок потребителей и производителей (поставщиков) лазерного оборудования для маркировки.

ЛИТЕРАТУРА

1. С.Emmelmann. Introduction to Industrial Laser Materials Processing. – Rofin-Sinar, Hamburg, 1998, p.180.
2. У Дьюли. Лазерная технология и анализ материалов/ Пер. с англ., 1986.– 504с.
3. Голубев В.С., Лебедев Ф.В. Инженерные основы создания технологических лазеров. – М.: Высшая школа, 1988.
4. Горный С.Г., Юдин К.В. – Индустрия, 2006, №1(43), с.20–21.
5. Горный С.Г., Емельченков И.Р. Лазерная маркировка. В кн.: Лазерная технология и ее применение в металлообработке. – Л.: ЛДНТП, 1990, с.42–47.